別紙２

生体電磁環境に関する検討会
第一次報告書（案）

平成２７年４月

生体電磁環境に関する検討会　第一次報告書

目　次

はじめに

生体電磁環境に関する検討会について

総務省では、これまで、安全かつ安心して電波を利用できる環境を整備するため、電波の人体や植え込み型医療機器に与える影響について長年にわたり調査研究を行い、電波ばく露による健康影響の防止のために必要な施策を講じてきた。

電波の人体への影響については、平成９年 10 月から約 10 年間にわたり「生体電磁環境研究推進委員会（委員長：上野　照剛　九州大学大学院工学研究院特任教授（最終報告書公表時点当時）[1]」（以下「旧委員会」という。）を開催し、調査検討が行われた。その検討結果として、平成 19 年４月に「生体電磁環境研究推進委員会報告書」が取りまとめられた。平成 20 年以降は、旧委員会を引き継ぐ形で「生体電磁環境に関する検討会（座長：大久保千代次電磁界情報センター所長。構成員は別紙の通り。以下「本検討会」という。）」が開催され、電波の安全性に関する研究をより適切に推進するための提言や、電波防護指針の評価・検証等を行ってきたところである。

電波が植込み型医療機器に及ぼす影響については、総務省において平成 12 年に調査を開始し、以降継続的に調査を行ってきている。平成 17 年には、より安全を確保するための注意事項を示すものとして、「各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針」（以下「総務省植込み型指針」という。）を取りまとめている。総務省植込み型指針は、その後も毎年度の調査結果を基に随時更新されており、これにより影響の防止が図られてきたところである。この総務省植込み型指針に対する関心は近年更に高まりつつあり、それに対応するため、平成 24 年から、総務省植込み型指針の妥当性の検証が本検討会の審議項目に追加された。

本検討会は、これらの取組により、国民が安全かつ安心して電波を利用できる社会の構築に寄与してきたところである。

第一次報告書について

電波の人体への影響の防止に関しては、旧委員会報告書の公表以降の約８年で、電波の安全性に関する国内外の調査研究成果の蓄積が進んできている。また、これを受けて、国際機関や諸外国の政府・研究機関等による、電波の安全性のリスク評価が進められている。一方では、国民の電波利用は更に拡

[1] 平成 18 年３月までは東京大学大学院医学系研究科教授。

大しており、電波はより身近で使用されるようになるとともに、利用形態の多様化、利用周波数の拡大等が更に進展してきている。これらに鑑みれば、平成 19 年に旧委員会報告書で示された考え方が現時点でも妥当であるのか、最新の情報を踏まえた上で、改めて総合的な検証を行うことが必要であると考えられる。

植込み型医療機器への影響の防止に関しては、昨今の技術の進展等に伴い電波利用機器と植込み型医療機器の双方の利用が拡大する中、総務省植込み型指針の取組の重要性は、更に増してきている。そのため、これまで実施してきた調査結果の公表、指針の改正等を継続的に行うだけでなく、今後の調査方針等について現段階で総括をすることは、非常に有用であると考えられる。

以上の観点から、今般、電波の人体及び植込み型医療機器への影響に関して、本検討会としての現時点での知見を第一次報告書（以下「本報告書」という。）として取りまとめた。また、あわせて、今後の施策の在り方や必要と考えられる研究課題等についても提言を行った。これにより、本報告書が国民の電波の安全性に関する理解の深化及び関連する政策のより適切な執行に寄与することを期待するものである。

第１部　電波の人体への影響について

第１章．これまでの取組

1.1. 電波の人体への影響に関する現時点での知見

電磁界[2]が空間を伝わっていく波のことを電磁波という。電磁波は、周波数が低い順から、電波[3]、赤外線、可視光線、紫外線、Ｘ線やγ線などに分類される。このうちＸ線やγ線は「電離放射線」と呼ばれ、これにばく露された場合には、原子や分子から電子をはぎ取る作用（電離作用）が起こり得ることが分かっている[4]。電離放射線に生物がばく露された場合には、電離作用により細胞が傷つけられることがある。一方、それらより周波数の低い電磁波（電波、赤外線、可視光線）は「非電離放射線」と呼ばれ、電離作用により細胞を傷つける現象は確認されていない。

電波は、非電離放射線であるため電離作用を起こすことはないが、非常に強い強度でばく露された場合には、「熱作用」と「刺激作用」が起こり得ることが分かっている。「熱作用」とは、人体に電波のエネルギーが吸収されることにより、体温（深部体温及び局所の組織温度）が上昇する作用のことである。また、「刺激作用」とは、電波によって誘導される体内の電界が、神経や筋に電位差を生じさせることにより、それらの活動に影響を与える作用のことである。これらの作用については、これまでの研究で、閾値が存在すること、つまり、閾値以下の電波ばく露では人体への健康影響は起こらないことが確認されている。さらに、これらの作用による健康への影響を防止するために、研究により確認された閾値に安全率（又は低減係数）を考慮した電波の安全基準に関するガイドラインが国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）[5]等により策定されている。世界保健機関（WHO）[6]は、電波ばく露の人体への健康影響を防止するための措置として、ICNIRP 等による国際的なガイドラインの指針値[7]の採用を推奨しているところである。

---

[2] 電磁界：電界及び磁界が組み合わされたもの。本報告書では WHO 等の国際機関の表記(Electromagnetic Field)に即して、原則「電磁界」を採用する。
[3] 電波：3THz 以下の周波数の電磁波のこと（電波法（昭和二十五年法律第百三十一号）において定義）。
[4] 紫外線は、低周波数側は非電離放射線、高周波側は電離放射線に含まれる。
[5] 国際非電離放射線防護委員会(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection:ICNIRP（イクニルプ））：電波や光等の人体への安全性に関し、純粋に科学的立場から安全性を検討し、勧告を行うことを任務とした独立した国際的組織。国際放射線防護学会により設置された専門委員会を前身とし、1992 年５月に現在の独立した組織となった。
[6] 世界保健機関(World Health Organization: WHO)：「全ての人々が可能な最高の健康水準に到達すること」を目的として設立された国連の専門機関。電磁界ばく露に関するリスク評価を行うため、国際電磁界プロジェクトが設置されている（2.1.1 項参照）。
[7] 指針値：本報告書においては、電波防護指針や国際的なガイドラインにおいて示された値を「指針値」と表記する。

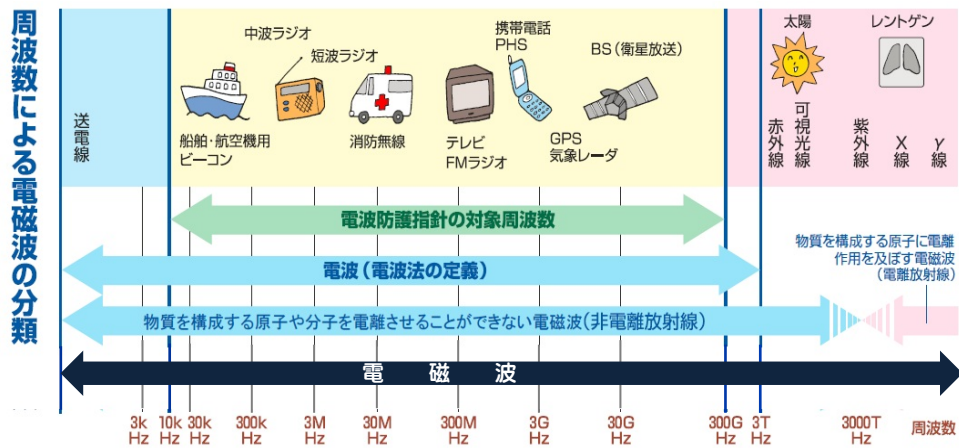
日本でも、この国際的なガイドラインと同等の指針値等が定められた「電波防護指針」が策定されており、その一部は電波法令による規制として導入されている。これにより、通信や放送等に使用される電波の安全性が確保されてきたところである。

電波ばく露による熱作用・刺激作用以外の未知の作用による人体への影響については、これまでの60年以上にわたり国内外で研究されてきた。その結果、これまでのところ、国際的なガイドラインの指針値より弱い電波ばく露条件においては、熱作用・刺激作用以外の作用が存在することを示す確かな科学的証拠は見つかっていない。一方で、熱作用・刺激作用以外の作用による人体への影響を懸念する声は依然として存在しており、この未知の作用による影響が存在する可能性を指摘する研究結果も限定的ながら報告されている（例えば、世界保健機関（WHO）の専門組織である国際がん研究機関（IARC）[8]は、平成 23 年、携帯電話等の電波が発がん性を持つ可能性をグループ２Ｂ（possibly carcinogenic to humans：発がん性があるかもしれない）に分類している[9]。）。そのため、熱作用・刺激作用以外の作用の有無について、現在でも世界中で科学的な検証が積み重ねられているところである。これらの国内外の研究結果の現状については、主に第３章において分析した。

なお、現在、WHO において世界中の研究結果の収集、分析が進められており、近いうちに、WHO はその分析に基づいた健康リスク評価を発表する予定である（2.1 項参照）。この公表の際には、我が国においても、それを踏まえた施策の推進方策について、改めて検討を行うことが必要である。

---

[8] 国際がん研究機関(International Agency for Research on Cancer:IARC)：WHO の専門組織で、発がんのメカニズム、疫学、予防などを研究し、ヒトへの発がんリスクの判定を公表している(2.1.2 項参照)。

[9] IARC CLASSIFIES RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AS POSSIBLY CARCINOGENIC TO HUMANS（2011/5/31 付け IARC 報道発表)。IARC では、発がん性に関する、①ヒトについての証拠、②動物についての証拠、③メカニズムとその他の証拠のそれぞれの証拠の強さを「十分」「限定的」「不十分」に分類した上で、総合的評価として、５種類のカテゴリー（1:「ヒトに対して発がん性ある：“ carcinogenic to humans”」、2A:「ヒトに対しておそらく発がん性がある：“Probably carcinogenic to humans”」、2B:「ヒトに対して発がん性があるかも知れない：” Possibly carcinogenic to humans”」、3:「分類できない：Not classifiable as to its carcinogenicity to humans」及び 4:「ヒトに対しておそらく発がん性はない：Probably not carcinogenic to humans」）に分類している。「2B」は、ある要因についての発がん性の証拠の強さがヒトにおいて「限定的」であり、かつ実験動物においては「限定的」あるいは「不十分」な場合に、その要因に対して用いられている。分類は科学的証拠の強さに基づいたものであり、その要因の発がん性の強さやがんリスクの大きさに基づいたものではないことに留意する必要がある。詳細は「2.1.2.IARC の動向」に記載。

図：周波数による電磁波の分類

1.2. **電波防護指針**

我が国では、電波ばく露による人体への健康影響を防止することを目的として、電波の強さの指針値等を定めた「電波防護指針」を策定している。この電波防護指針は、平成２年６月に電気通信技術審議会答申 諮問第 38 号「電波利用における人体の防護指針」で策定され、以降、電波利用の進展や国際ガイドラインの改定等に対応して、随時、追加・改定が行われてきた。現在、電波防護指針は、以下の４つの答申等から構成されている。

・電気通信技術審議会答申 諮問第 38 号「電波利用における人体の防護指針」（平成２年６月）

・電気通信技術審議会答申 諮問第 89 号「電波利用における人体防護の在り方」（平成９年４月）

・情報通信審議会答申 諮問第 2030 号「局所吸収指針の在り方」（平成 23 年５月）

・情報通信審議会一部答申 諮問第 2035 号「電波防護指針の在り方」のうち、「低周波領域（10kHz 以上 10MHz 以下。）における電波防護指針の在り方」（平成 27 年３月）

電波防護指針の指針値は、これまでの研究により明らかにされた熱作用・刺激作用による人体への影響の閾値から、十分な安全率（最大 50 倍）を考慮し、人体への健康影響を確実に防止できるものとして設定されている。この指針値は、電波防護に関する国際ガイドラインである ICNIRP のガイドラインの指針値と同等のものである。なお、電波防護指針及び ICNIRP のガイドラインにおいては、指針値以下の電波ばく露によって健康影響が発生する可能性については、科学的に立証されていないものとしている。

1.3. 電波法令による規制

安全な電波利用を確保するため、電波防護指針の指針値の一部は、電波法令による規制値として導入されている。これにより、携帯電話基地局や放送局、携帯電話端末等の国民の身近に存在する電波利用設備からの電波は、電波防護指針の指針値を満たすことが担保されている[10]。

1.4. 電波の安全性に関する研究

総務省では、電波の医学・生物学的影響に関する研究を平成９年度から実施している。研究の成果は、学会発表・論文投稿等により国際的に発信されるとともに、WHO の国際電磁界プロジェクト（2.1 項参照）に報告されており、総務省の研究は、電波の健康影響に関する国際的なリスク評価に貢献している。なお、研究は、国際的な研究の動向や電波利用動向の変化等を考慮した上で推進される必要があるため、平成 19 年までは旧委員会、平成 20 年以降は本検討会が中心となり、研究課題の抽出や研究結果の検証に関する助言等を行ってきたところである。

平成 19 年以降に総務省が実施した研究の成果については、3.2 項にまとめた。

1.5. 電波の安全性に関するリスク・コミュニケーション[11]

電波の安全性に関しては、インターネット等を通じて、真偽が不確かなものを含めて、様々な情報が交錯している状況である。そのような状況の中、行政は、適切かつ積極的な情報発信及び対話を行うことが重要である。総務省では、国民の電波の安全性に関するリテラシー向上のための施策として、ホームページ[12]やパンフレットによる情報提供、専門スタッフを設置しての電話相談受付、全国各地での定期的な説明会の開催等を行っている。特に、説明会においては、行政担当者及び研究者が聴講者の質問に答える形で、電波の安全性に関する不安を抱える市民の方々との対話を行っている。

---

[10] 携帯電話基地局や放送局については電波法施行規則（昭和 25 年電波監理委員会規則第 14 号）第 21 条の 3、携帯電話端末については無線設備規則（昭和 25 年電波監理委員会規則第 18 号）第 14 条の２において、人体防護のための規制値が定められている。

[11] 社会を取り巻くリスクに関する正確な情報を、行政、専門家、企業、市民などの関係主体間で共有し、相互に意思疎通を図るための手段。合意形成のひとつ。

[12] 電波利用ホームページ：http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/ele/index.htm

第２章．生体電磁環境に関する国際動向

2.1. WHO の動向

2.1.1. WHO 国際電磁界プロジェクト

WHO は、1996 年に国際電磁界プロジェクト（International EMF Project）を発足させた。このプロジェクトの主要な目的は、電磁界ばく露についての健康リスク評価書である「環境保健クライテリア」（Environmental Health Criteria。以下「EHC」という。）[13]を発刊することである。既に、電磁界ばく露のうち、静磁界及び超低周波（ELF）電磁界（100kHz 以下）へのばく露については、2006 年及び 2007 年にそれぞれ EHC[14]が発刊されている。100 kHz 以上の無線周波（RF）[15]電磁界へのばく露については、1993 年に EHC が発刊された[16]が、現在、EHC の改定版の発刊に向け、研究結果の収集・分析等が進められている。2014 年 10 月 1 日にはこの RF 電磁界の EHC 改定版の第一草案が公表され、12 月 15 日までの意見募集が行われている[17]が、この第一草案には、いまだリスク評価に関する記載は含まれていない。今後、2015 年秋以降に開催される RF 電磁界健康リスク評価会議において、RF 電磁界のリスクに関する見解が検討される予定である。

WHO は、総括的な見解を示す EHC 以外にも、主要な論点については、個別論点ごとに「ファクトシート」を発行し、公式見解を公表してきている。RF 電磁界の健康影響についても、主要な論点に関してファクトシートが逐次発行されてきている（RF 電磁界に関する主な WHO ファクトシートは、表 1.1 のとおり。）。なお、WHO は、記述に変更の必要が生じた場合にはファクトシートを改定することとしており、旧委員会報告書以降では、ファクトシート№193「携帯電話」が 2011 年及び 2014 年に改定されている[18]。

---

[13] 環境保健クライテリア(Environmental Health Criteria:EHC)：化学物質や物理現象等へのばく露と人間の健康との関連についての情報を評価すること等を目的として、WHO が発刊する文書。

[14] 静磁界の EHC: Static Fields Environmental Health Criteria Monograph No. 232(2007 年), WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-157232-9,
http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/ehcstatic/en/
超低周波電磁界の EHC：Extremely Low Frequency Fields Environmental Health Criteria Monograph No.238 (2006 年), WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-4-157238-5,
http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/

[15] RF (Radio Frequency) とは、主に無線通信に使用される 10MHz 以上 300GHz 以下の周波数帯の電波をいう。ただし、RF-EHC において評価対象とされている周波数は、100kHz 以上 300GHz 以下である。

[16] http://www.who.int/peh-emf/research/health_risk_assess/en/index2.html

[17] http://www.who.int/peh-emf/research/rf_ehc_page/en/

[18] 2011 年 6 月、IARC の発表を受けて改定している（詳細は 2.1.2. IARC の動向を参照）。また、2014 年 10 月には、携帯電話加入件数を「46 億　(2011 年末)」から「69 億」に、WHO の公式なリスク評価の年限を「2012 年まで」から「2016 年まで」に変更する改定を行っている。

表 1.1　RF 電磁界の健康リスクに関する主な WHO ファクトシート一覧 [19]

No.181「国際電磁界プロジェクト」(1998/5)
No.182「物理的特性と生体への影響」(1998/5)
No.183「無線周波電磁界の健康影響」(1998/5)
No.184「公衆の電磁界リスク認知」(1998/5)
No.193「携帯電話」(2014/10)
No.226「レーダと人の健康」(1999/6)
No.296「電磁過敏症」(2005/12)
No.304「基地局および無線技術」(2006/5)

また、WHO は、電波のリスク評価のために必要な研究課題を取りまとめ、2006 年及び 2010 年に公表している。総務省委託研究は、この研究課題に挙げられた課題を重点的に研究し、得られた研究結果を論文等の形で公表することにより、WHO のリスク評価の策定に貢献しているところである。この WHO の研究課題の詳細については付録１にまとめた。

2.1.2. IARC の動向

WHO の専門組織である国際がん研究機関 IARC（International Agency for Research on Cancer）は、様々な作用因子（物理的因子、化学的因子、特殊な環境的因子など）の発がん性の有無について評価を行い、その科学的証拠の確からしさを、表 1.2 に示す５つのグループに分類している [20]。

RF 電磁界の発がん性評価は、IARC により選定された疫学研究・実験動物研究・細胞研究の専門家により、2011 年５月に行われた。専門家で構成されたワーキンググループが論文の精査とモノグラフの作成を行った結果、疫学研究等において「限定的証拠」があるとの評価がなされた [21]。この「限定的証

[19] ファクトシートは日本語版を含む多言語で WHO のウェブサイトにて公開されている。(URL: http://www.who.int/peh-emf/publications/factsheets/en/) なお、全てのファクトシートは WHO の最新の見解を示すものとの位置付けである。なお、発行から一定期間経過したものはバックグランダーと名称が変更されるが、WHO の公式見解を示すという点には変化はない。ただし、その後更に一定期間経過した場合、最終的には WHO のホームページから削除される場合がある。

[20] なお、この分類では、対象となる作用因子の発がん性の強さの評価や、実際の人体へのばく露量を踏まえたリスクの評価は行っていない。例えば、アルコールや太陽光はグループ１「発がん性がある」に分類されているが、どの程度のアルコール摂取（太陽光へのばく露）が発がんにつながり得るかの評価はされていない。あくまでも発がん性の科学的証拠の確からしさのみの評価であることには注意が必要である。

[21] ヒトの疫学研究及び実験動物の発がん性に関する研究では「発がん性に関する限定的証拠(Limited evidence)」があるとの評価、細胞研究では「メカニズムとしての弱い証拠(Weak mechanistic evidence)」があるとの評価がなされた。

拠」とは、「因果関係は信頼できると考えられるが、偶然、バイアス又は交絡因子[22]を根拠ある確信を持って排除できない場合に用いられる」ものと定義されている。これらのワーキンググループの結論を踏まえ、最終的に検討に携わったメンバーの投票により、「グループ２Ｂ（Possibly carcinogenic to humans（発がん性があるかもしれない））への分類が決定された（この発がん性評価会議の詳細については付録１にまとめる。）。

この発がん性分類に当たっては、IARC の調整により行われた国際的疫学研究（インターフォン研究）の結果が重視されている。これは、携帯電話の使用期間の増大に伴うリスク上昇の一貫した傾向は見られなかったものの、自己申告された携帯電話の累積使用時間が上位 10%に入った人々において、神経膠腫のリスク上昇を示唆するものがあったというものである。ただし、インターフォン研究報告書の著者らは、バイアスと誤差があるために、これらの結論の確からしさは限定的であり、因果的な解釈はできないと結論している[23]。また、聴神経鞘腫についても、関連の強さは神経膠腫と比べて小さいものの、同様の結果となっており、IARC のワーキンググループは、得られた知見を全てバイアスで説明することは困難であるとして、限定的証拠としている。

この IARC の発がん性評価は 2011 年 5 月 31 日に公表[24]され、WHO はこれを受けて、その翌日６月１日に、携帯電話に関するファクトシート No.193 の更新を行った。この中では、「携帯電話が潜在的な健康リスクをもたらすかどうかを評価するために、これまで 20 年以上にわたって多数の研究が行われてきました。今日まで、携帯電話使用を原因とするいかなる健康影響も確立されていません。」、「動物実験研究の結果についても、RF 電磁界の長期的ばく露でのがんリスク上昇がないことを一貫して示している」とされている一方で、「脳腫瘍のリスク上昇は確立されなかったものの、携帯電話使用の増加と 15 年より長い期間の携帯電話使用についてのデータがないことは、携帯電話使用と脳腫瘍リスクのさらなる研究が必要であることを正当化しています。」としている。また、発がん性以外も含めた健康影響を総合評価する EHC の作成作業を今後進めていくとしている。なお、ファクトシート No.193 は、2014 年 10 月に再度更新が行われたが、この見解に関する記述は変更されてい

---

[22] 交絡因子：ある要因の病気との因果関係を調べようとする際に、調べようとする要因以外の因子が、病気の発生に影響を与えている場合、その因子を交絡因子という。

[23] INTERPHONE Study Group, “Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study,” *Int J Epidemiol.*, Vol.39, pp.675-94, 2010.

[24] IARC CLASSIFIES RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AS POSSIBLY CARCINOGENIC TO HUMANS (2011/5/31 付け IARC 報道発表)

ない。

また、ICNIRP は、2011 年７月に発行したレビュー論文で、IARC が根拠とした疫学研究のこれまでの結果は、携帯電話の脳腫瘍発がんを否定する証拠を増強するものであると結論している[25]。

表 1.2　IARC による発がん性の分類とその主な例

発がん性の分類及び分類基準	既存分類結果［980 種］
グループ 1： 発がん性がある (Carcinogenic to humans)	アルコール飲料、喫煙、受動喫煙、無煙たばこ、電離放射線（全種類）、太陽光、紫外線（波長 100～400nm）、紫外線を照射する日焼け装置、アスベスト（全形態）、カドミウム及びカドミウム化合物、アフラトキシン、ベンゼン、ホルムアルデヒド、ディーゼルエンジン排ガス、トリクロロエチレン、屋外大気汚染、粒子状物質など　［合計 116 種］
グループ 2A： おそらく発がん性がある (Probably carcinogenic to humans)	アクリルアミド、無機鉛化合物、熱いマテ茶、日内リズムを乱す交代制勤務、マラリア、テトラクロロエチレン、木材などのバイオ マス燃料の室内での燃焼など ［合計 73 種］
グループ 2B： 発がん性があるかもしれない (Possibly Carcinogenic to humans)	鉛、重油、ガソリン、コーヒー、漬物、メチル水銀化合物、クロロホルム、超低周波磁界、ガソリンエンジン排ガス、**高周波電磁界（ワイヤレス式電話からのものを含む）**など ［合計 287 種］
グループ 3： 発がん性を分類できない (Unclassifiable as to carcinogenicity to humans)	静電界、静磁界、超低周波電界、蛍光灯、原油、軽油、カフェイン、お茶、マテ茶、水銀及び無機水 銀化合物、有機鉛化合物など ［合計 503 種］
グループ 4： おそらく発がん性はない (Probably not carcinogenic to humans)	カプロラクタム ［1 種］

（2015 年 3 月 23 日現在）

2.2. ICNIRP の動向

国際非電離放射線防護委員会 ICNIRP（International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection）は、非電離放射線[26]の安全性に関し、情報提供と助言（人体ばく露の許容ガイドラインの策定）を行うために設立された非営利組織である。利害関係にとらわれず純粋に科学的な根拠に基づいた検討を行うため、産業界からの支援は受けず、WHO や各国政府・学会からの寄付や委託により財源を確保している。WHO は、ICNIRP を重要な協働パー

[25] Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, Leeka Kheifets LK, Savitz DA, “International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection Standing Committee on Epidemiology. Mobile Phones, Brain Tumours and the Interphone Study: Where Are We Now?,” *Environ Health Perspect.*, Vol.119 (11), pp.1534-8., 2011

[26] ICNIRP が所掌する非電離放射線は、0Hz から 3PHz まで（波長が 100μm 以下）の電磁界（直流電磁界～紫外線）と可聴域を除く音波（20Hz 以下の超低周波音と 20kHz 以上の超音波）を含む。

トナーと位置付けており、その策定した非電離放射線の人体防護ガイドラインを、健康影響防止のための手段として公式に推奨している。また、EU は、電磁界の公衆ばく露に関する EU 理事会勧告 1999/519/EC において、加盟各国に対して ICNIRP のガイドラインの採用を勧告している。そのため、現在、欧州を中心に、日本を含む世界中の多くの国が ICNIRP ガイドラインを人体防護のための安全基準として採用しているところである。

ICNIRP は、300GHz までを対象とする「時間的に変動する電磁界の人体ばく露量に関するガイドライン」を 1998 年に発行している[27]。このうち、低周波電磁界（1Hz – 100 kHz）については、2010 年に改定版が発行された[28]。なお、この ICNIRP ガイドラインの改定は、主にばく露評価技術の進歩を踏まえたものとされている。また、熱作用と刺激作用以外の人体影響の可能性についても検討が行われたが、従来のガイドラインと同様に、ガイドラインの根拠として採用するには科学的証拠が非常に弱いとしている。

我が国でも、この改定を受けて、平成 27 年（2015 年）３月 12 日に電波防護指針の改定[29]を行っている。この改定の際、特に ICNIRP ガイドラインが発行された 2010 年以降に発表された研究論文を対象に検討を行い、この ICNIRP の見解を否定するような科学的証拠は現段階においても確認されていないと結論付けている。そのため、ICNIRP と同様、熱作用と刺激作用以外の人体影響は指針値の根拠としては採用していない。

100 kHz 以上の高周波電磁界については、現在でも引き続き 1998 年のガイドラインが有効である[30]。今後、WHO の RF 電磁界に関する EHC の発刊に合わせて、この高周波電磁界のガイドラインについても改定されることが検討されている。このガイドラインが改定された際には、我が国の電波防護指針の改定の要否についても、検討を行うことが必要である。

なお、この ICNIRP の動向の詳細及び、ICNIRP と同様に WHO が公式にそのガイドラインを推奨している米国電気電子学会（IEEE）[31]の詳細については、付録１にまとめる。

2.3. 各国（地域）の電波防護規制のまとめ

---

[27] （英文）http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf
（和文）http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdljap.pdf
[28] （英文）http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf
（和文）http://www.jeic-emf.jp/assets/files/pdf/whats_new/LFGuideline2010_Japanese.pdf
[29] 平成 25 年 12 月 13 日付け諮問「電波防護指針の在り方」に対する情報通信審議会一部答申
[30] 2009 年の ICNIRP の声明文書において、1998 年ガイドラインを直ちに改定する必要がある科学的な新たな証拠は確認されていないとの認識を示している。
[31] IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers（米国電気電子学会）

現在、WHO は、ICNIRP 又は IEEE の策定したガイドラインの採用を公式に推奨しており、日本を含む多くの国で、その指針値に準拠した法的な規制が行われている。

携帯電話基地局や放送局に対する規制に関して、EU 加盟国の大半[32]は、ICNIRP ガイドラインの参考レベル値を電波防護の指針値として採用している。一方、欧州の一部の国[33]は、「用心のための原則」に類する考え方（4.2 項参照）を採用し、ICNIRP の参考レベルより厳しい基準値[34]の設定や、公共施設、医療機関、教育施設等の周辺エリアでの厳しい制限等を導入している。米国は、ANSI[35]/IEEE の規格及び米国放射線防護測定審議会（NCRP）[36]のガイドラインを採用して電磁界強度等の規制を行っているが、多くの周波数帯において基準値は ICNIRP の指針値とほぼ同等である。中国、ロシア、ポーランド、ブルガリア等は、電磁界強度や電力密度について独自に厳しい規制を行っている。

携帯電話端末からのばく露に関しては、日本を含むほぼ全ての国で、ICNIRP 及び IEEE の指針値 2W/kg を法的規制として採用している。米国は、IEEE の旧指針値 1.6W/kg を採用しており、IEEE の指針値が 2W/kg に変更された現時点においても、規制値を変更していない。なお、スウェーデンやフランスは携帯電話使用時のばく露低減策の採用を勧告しており、ベルギー連邦政府は子供用携帯電話端末の販売を禁止しているなど、独自の規制を設けている国も存在する。

各国の規制に関する詳細な情報については、付録２にまとめる。

2.4. 電磁界の健康影響に関する国際コーディネート会合（GLORE 会合）

電磁界の健康影響に関する国際コーディネート会合（GLObal Coordination of REsearch and Health Policy。以下「GLORE」という。）は、国際協調の推進を図ることを目的として毎年一度開催される、電波の生体影響に関する国際会議である。GLORE は、平成 9 年に我が国の呼びかけにより日本と韓国の二国間で開催された生体電磁環境専門家会合を前身としており、平成 11 年より EU が、平成 13 年より米国が参加して現在の形に至ったものである。

---

[32] 2014 年 3 月末現在、英国、フランス、ドイツ、スペイン、スウェーデン、フィンランド、ノルウェー、デンマーク、オランダ、オーストリア、チェコ、ハンガリー、ルーマニア等

[33] 2014 年 3 月末現在、ベルギー連邦政府及び 3 地域政府、スイス、イタリア、ギリシャ、クロアチア、スウェーデン等

[34] 基準値：本報告書においては、電波法や各国の規制によって定められた制限値を「基準値」と表記する。

[35] ANSI: American National Standards Institute（米国国家規格協会）

[36] NCRP: National Council of Radiation Protection and Measurements

この GLORE には、日本を含む各国の専門家・行政官が出席し、最新の研究状況及び各国政府による施策の動向等について情報交換・意見交換を行っている。我が国を含む参加各国にとって、電磁界の健康リスク評価・管理を国際的な枠組みで推進していく上で重要な機会となっている。今後とも、我が国から積極的に参画し、相応の貢献をしていくことが必要である。

第３章．生体電磁環境に関する研究の現状

3.1. 国内外における主な研究の現状

3.1.1 現状分析における留意点

これまで、RF 電磁界による健康影響・生体影響についての多くの研究成果が、国際的な査読付き学術雑誌に報告されている。また、いくつかの国際専門組織や各国政府機関から、これらの研究を精査・再評価したレビュー文書が発行されている。本項においては、主に EU の SCENIHR[37]が 2015 年に発表した「電磁界へのばく露の潜在的健康影響についての提言 [38]」を参考として、これらの研究成果及びレビュー文書を分析することにより、国内外の研究の現状のまとめとした。なお、この中で、SCENIHR 報告等の記述を部分的に引用している。また、現状の分析に用いた文献等の情報は、付録３にまとめた。

旧委員会の最終報告書（2007 年）以降、多くの研究論文が報告されているが、本報告では、以下の留意点を評価の際に特に重視する観点とすることにより、これらの研究結果を総括した。

【生体電磁環境に関する研究論文を評価する上での留意点】

①ばく露条件に関する情報が詳細に記述されていること

ばく露条件に関する情報が充実しているか否かは、リスク評価において重視すべき研究結果であるかどうかを判断するための重要な要素である。動物、細胞、被験者等にばく露実験を行う研究の場合、研究で得られた結果を解釈し、また再現するためには、ばく露条件に関する情報が詳細に記述されていることが必須の条件となる。これらの情報の記述が不十分な論文は、RF 電磁界の生体影響に関する作用機序 [39] を考察する上では慎重に取扱われるべきである。

②十分なばく露評価期間がとられた研究であること

疫学研究においては、理想的には、発症までの潜伏期間を考慮して、症例が発症する前の適切な期間にわたり、全ての主要なばく露源が捕捉されることが望ましい。そのため、RF 電磁界の健康リスクに関する研究においては、少なくとも診断前の数年間以上にわたってばく露量に関するデータが参照できることが望ましい。しかし、ばく露評価は

[37] SCENIHR：Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks（新興及び新規に同定される健康リスクに関する科学委員会）：新興のまたは新たに同定された健康・環境リスクについて、科学的な知見から評価を行い、欧州委員会に提言を行う機関。電磁界についても、定期的に健康リスク評価の結果を報告している。

[38] http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf

[39] 作用機序：薬物等が生体に何らかの効果を及ぼす仕組み、メカニズムのこと。

一般に、過去に遡るほど困難であり、現時点でのばく露評価に比べて誤差を多く含む傾向がある。また、研究対象者の記憶に基づく情報は、想起[40]による偏りを含むものとされる。これらの問題は、特に症例対照研究[41]における大きな課題であり、より多くの客観的な情報源を利用するなど、可能な限り課題解決に配意した研究デザインとすることが必要である。なお、現代社会ではRF電磁界のばく露源はいたるところにあるため、他のばく露源による影響についても関連性を検討する必要性などについても注意が必要である。

③ばく露と評価指標への影響との因果関係に関する分析が適切にされていること

実験研究の研究論文においては、因果関係に関する仮説が明確に考察・分析され、その仮説と整合性のある実験結果が報告されていることが望ましい。すなわち、論文で用いる生物学的な評価指標がどのような作業仮説[42]あるいは応答メカニズムを背景にRF電磁界ばく露の影響を受け得るのか等について、明確に記述、考察がなされたものは、高く評価されるべきである。逆に、このような分析に欠ける論文においては、偽陽性[43]の結果が報告されていることが多いが、その結果は信頼性が低いものと評価される場合がある。

3.1.2. 無線周波(RF)電磁界の健康影響

(1)腫瘍性疾患

近年における国際がん研究機関（IARC）又は各国機関から報告されている携帯電話のRFばく露に関する疫学研究の結果は、脳腫瘍のリスク増加に関して、科学的証拠としての確からしさは依然として限定的なものである。また、頭部及び頸部以外のがん、すなわち小児がんを含むその他の悪性疾患におけるリスクの増加は、現時点で示されていない。

これまでの疫学研究においては、携帯電話のヘビーユーザーにおける神経膠腫[44]と聴神経腫[45]のリスク増加に関する懸念が示されていた。しかし、最

---

[40] 想起：以前にあったことを思い起こすこと。
[41] 症例対照研究(case control study)：疫学研究における手法の一つで、研究対象とする疾患や病態を有する者（症例）と、非常に似た集団であるが対象となる疾患や病態を有していない者（対照）の二つの集団を比較する研究のこと。
[42] 作業仮説：理論的整合性など仮説として十分なものとはいえないが、研究や実験を進める手段として暫定的に立てられる仮説のこと。
[43] 偽陽性：本来は陰性であるのに、陽性と判定されるもの。
[44] 神経膠腫(glioma)：脳の神経膠細胞（グリア細胞）から発生する悪性腫瘍。
[45] 聴神経腫：聴神経の周りを鞘の様に取り巻いているシュワン細胞から発生する良性腫瘍。

近のコホート研究[46、47]と経時的発生傾向に関する研究[48]に基づくと、神経膠腫に関する証拠の確からしさはより限定的なものとなってきている。なお、聴神経腫との関連の可能性については、注目すべき研究の進展は見られていない。

近年の動物実験による結果では、実験条件が適切に計画されたものに限れば、ほとんどの研究において RF 電磁界ばく露と脳腫瘍との関連性が認められていない。

また、細胞研究においては、遺伝毒性[49]又は非遺伝毒性[50]指標に関連した多くの研究が報告されているが、ほとんどの研究結果において、国際ガイドラインの許容値以下の RF 電磁界ばく露においては、影響は観察されないとの結論が導出されている。ただし、一部の細胞研究においては、指針値以上[51]の強い電波を照射した実験条件下における DNA 鎖の不安定化[52、53]や紡錘体[54]の変化が報告[55]されており、今後の検証・分析が望まれる。

(2)神経系及び神経生理学的な影響

神経系への影響に関して、最近の疫学研究や観察研究を総括した結果、RF 電磁界ばく露に関連する神経学的な疾患について、現時点で確かな科学的証拠は見つかっていないと考えられる。

神経生理学[56]的な研究に関しては、覚醒及び睡眠時の脳波研究について多くの研究が実施され、RF 電磁界ばく露が脳活動に影響を与えるかもしれないという報告が発表されてきた。最近の研究においても、同様の結論を導く報告が多く見られる。しかしながら、この脳波の変化は、いずれも通常の生理的変動の範囲内のものであり、これによる健康影響は確認されていない。また、人間の認知機能への RF 電磁界ばく露の影響に関しては、現時点では確か

[46] コホート研究(cohort study)：疫学研究の手法の一つで、特定の集団（コホート）を対象として、長期的に経過を追跡する調査手法のこと。

[47] Frei P, et al., 2011. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. BMJ 343:d6387.

[48] Deltour I, et al., 2012. Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979-2008: consistency check. Epidemiology 23:301-307.

[49] 遺伝毒性(Genotoxicity)：DNA や染色体など、遺伝形質を担う物質に影響を及ぼす作用の性質や強さのこと。

[50] 非遺伝毒性：遺伝毒性以外の作用により発がんを引き起こす作用の性質や強さのこと。

[51] 熱作用の閾値は下回るものの、国際ガイドラインの指針値を上回るもの。

[52] DNA 鎖の不安定化：DNA を構成する鎖が切断される DNA の損傷のこと。

[53] Franzellitti S, et al., 2010. Transient DNA damage induced by high-frequency electromagnetic fields (GSM 1.8 GHz) in the human trophoblast HTR-8/SVneo cell line evaluated with the alkaline comet assay. Mutat Res 683:35-42.

[54] 紡錘体(spindle)：細胞分裂の際に、染色体を各分裂後細胞に分離させる繊維状の構造体。

[55] Schrader T, et al., 2008. Spindle disturbances in human-hamster hybrid (AL) cells induced by mobile communication frequency range signals. Bioelectromagnetics 29:626-639.

[56] 神経生理学：中枢及び末梢神経の機能を対象とする生理学の一分野。

な科学的証拠として認められる段階にない。

動物実験研究では、主としてマウスとラットを用い、様々なばく露条件による実験を通じて、多くの評価指標が検討されている。近年の論文においては、いくつかの陽性結果も報告されているが、それらの結果については、既存の結果との不一致が見られること、また多くの研究においては国際ガイドラインよりも高いレベルのばく露による結果であることを考慮すると、現時点では確かな科学的証拠として認められる段階になく、今後の更なる検証が必要である。

細胞実験研究では、神経系機能への影響、あるいは神経系疾患の進行に関しての影響評価に対して有用となるデータを示す研究は報告されていない。

(3)生殖・成長発達機能への影響

これまで、携帯電話等からのRF電磁界ばく露が男性の生殖機能に対する影響に関して多くの研究が行われてきたが、近年の研究を総合すると注目すべき進展は見られていない。生体外で精子又は精液に対してRF電磁界ばく露を行った研究[57]においては、検討した多くの検査項目のうち少数項目で示された陽性の結果を報告しているものもある。しかし、これらの研究は、ばく露の方法論について問題があると考えられ、再現性等に関して検証が必要である。また、RF電磁界ばく露による精子の形態異常[58]も報告されているが、RF電磁界以外の要因による影響の可能性を排除できているかなど、結果の検証が必要である。

その他、小児の発達、不妊、胎児への影響に関する研究についても、いくつかの陽性の結果が報告されている[59]。しかし、これらの結果については、疫学研究における交絡因子や想起バイアス[60]による影響を排除できているかなど、研究手法に関する検証が必要であり、現時点で確かな科学的証拠としては認められない。

(4)電磁過敏症

---

[57] 付録３の該当箇所（P42～）を参照。

[58] 付録３の該当箇所（P42～）を参照。

[59] デンマークの国内出生コホート研究が、携帯電話利用者であった母親から生まれた小児において、いくつかの行動的異常等の出現率が上昇するとの結果を報告している。この結果については、今後、疫学研究の手法の妥当性、結果の再現性等に関する研究が期待される。なお、総務省の「２GHz電波全身ばく露による多世代にわたる脳の発達及び機能への影響」等の動物実験においては、行動異常含む影響は確認されていない。また、総務省が実施した「電波の安全性の評価技術」においては、妊娠女性（胎児）の電波ばく露量の評価が行われており、胎児の電波吸収量は母体と同程度以下であることが確認されている。

[60] 想起バイアス(recall bias：過去の記憶を思い起こす（想起）際の正確さを欠くことにより起こるエラー。特に、症例群の方が調査対象とする要因へのばく露を多く想起してしまうことを指す。

RF 電磁界ばく露により何らかの愁訴[61]が生じるとされる、いわゆる「電磁過敏症」についても、これまで多くの研究が進められてきた。それらの結果においては、RF 電磁界ばく露がこれらの症状の原因ではないという結論が示されている。また、近年報告された観察データと誘発データを用いたメタ解析[62]の結果[63,64]からも、同様の結論が報告されている。

短期的（数分から数時間）ばく露に関連する症状に関しては、これまでに数多く実施されたヒトを対象とした二重ブラインド法[65]実験の結果により、症状発症と RF 電磁界に因果関係はないとの結論が強力に裏付けられている。

長期的（数日から数カ月）ばく露に関連する症状に関しても、これまでのヒトを対象とした観測的研究の結果から、因果関係を示す確かな科学的証拠は発見されていない。

3.1.3. 中間周波（IF）電磁界の健康影響

中間周波（IF）[66]電磁界ばく露に関する研究は、現時点では実験データが限定的であり、また疫学的な研究が皆無であることから、リスク評価を行うには不十分である。これまで、動物実験により、20kHz～60kHz の周波数帯において 0.2mT[67]までの磁界に対しては胎児に対する催奇形性[68]が見られないことを示した研究結果[69]が示されているが、それ以外の周波数については今後の研究が望まれる段階である。

また、今後、ワイヤレス電力電送など中間周波電磁界を使用する機器の普及により、当該周波数帯の電磁界ばく露が増加することが想定される。その

[61] 愁訴：患者などが訴える症状のこと。

[62] メタ解析(meta-analysis：独立して行われた複数の研究データを収集・統合し、統計的手法を用いて解析すること。

[63] Roosli M, et al. , 2010 . Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. Bull World Health Organ 88:887-896F.

[64] Augner C, et al., 2012. Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: a meta-analysis. Sci Total Environ 424:11-15.

[65] 二重ブラインド法(double blind test)：被験者の思い込みによる影響（偽薬効果）を分離するために、薬等の性質（真薬/偽薬の区別を含む）等を、実験者・被験者のどちらからも不明にして行う実験のこと。

[66] Intermediate frequency (IF)：300Hz～10MHz の周波数帯の電磁界をいう。この領域では、主に 10 MHz 以下の周波数帯では刺激作用が現れ、一方で 100kHz 以上の周波数帯では熱作用が現れるため、刺激作用と熱作用が同時に起こる場合がある。

[67] この周波数帯では、刺激作用防止のための電波防護指針値が定められている（一般環境 0.0027mT）。それに比べて約 70 倍という極めて高強度の磁界での実験を行っている。また、一般家庭で使用されている IH 調理器から発生する磁界強度は指針値の 10%以下であると報告されている（一般財団法人家電製品協会報告書より；http://www.aeha.or.jp/02/101.htm）

[68] 催奇形性：胎児に奇形を生じさせる性質、作用のこと。

[69] Nishimura I, et al., 2011. "Lack of teratological effects in rats exposed to 20 or 60 kHz magnetic fields" Birth Defects Res B Dev Reprod Toxicol 92(5): 469-77.

ため、疫学的研究を適切に実施するためのバイオマーカー[70]と健康指標についての研究が、適切な規模、適切なばく露評価を伴った手法により実施されることが期待される。

3.1.4. テラヘルツ（THz）電磁界の健康影響

テラヘルツ帯電磁界の健康影響に関しては、現状では研究データの蓄積が非常に少ない状況である。この周波数帯の研究においては、電磁界の周波数、パワー、ばく露時間等の物理的パラメータだけでなく、屈折率、吸収率、散乱等の生物学的なパラメータについても重要な要素となることが指摘されている。

テラヘルツ波が人体に侵入する深さは 100μm 程度 [71]であるため、皮膚と眼の角膜への影響が研究の最も重要なターゲットとなる。また、基本的に水分がテラヘルツ波の吸収体となるが、DNA、タンパク質、炭水化物など、多くの生物学的分子も吸収に関与すると考えられる。これらがテラヘルツ波を吸収することから、強いパワーのテラヘルツ電磁界は大きな熱作用を示す要因となり得る。そのため、その影響に関する定量的な分析が早期に実施されることが期待される。一方、弱いテラヘルツ電磁界ばく露の生物学的影響を調べた研究例は少ないが、近年、テラヘルツ波源と検出器が広く使用できるようになったことを背景に、研究は増加傾向にあり、今後の研究推進が期待される。

これまで、テラヘルツ波ばく露に関する動物実験及び細胞実験は、少数ながら報告がされている。しかし、研究結果の蓄積は乏しく、統一的な検証・分析も実施されていない。なお、動物実験、細胞実験ともに陽性影響を示した研究報告も見られるが、結果の再現性、影響のメカニズムに関する分析等が必要であり、現時点で確かな科学的証拠として認められるものは発見されていない。

以上のように、テラヘルツ帯電磁界のばく露による健康影響については、信頼できる研究結果が不足しているため、現時点では結論を出せる段階にない。今後、テラヘルツ帯を用いた機器の利用が増加するため、体系的でかつ幅広い周波数帯を対象とした研究の早急な実施が望まれる。特に、テラヘルツ帯の特性を考慮して、皮膚・角膜への影響に着目した研究が強く推奨される。なお、熱作用以外の健康影響の可能性に関する検証についても、その科

[70] バイオマーカー(Biomarker)：身体の状態を客観的に測定し評価するための指標のこと。
[71] Fuse T, et al., 1994. “Penetration Characteristics of Submillimeter Waves in Tissues and Aqueous Solution of Protein,” IEICE transactions on communications E77-B(6): 743-748.

学的な解明が望まれるが、その検証においては、再現性やメカニズムの分析等に関して、客観的な評価が必須とされる。

3.1.5. **複合ばく露の健康影響**

異なる周波数領域の電磁界の同時ばく露に関しては、近年のほとんどの研究において、影響がない旨の結果が報告されている。現時点であらゆる組合せの評価を行うための十分な情報を得ているとはいえないが、少なくとも累積強度で国際ガイドラインが示す指針値よりも低い電磁環境においては、相乗的な効果が見られることはない。

また、電磁界ばく露が化学物質や他の物理的ストレス因子による影響を変化させる可能性があると指摘する研究報告[72]がなされている。しかしながら、これら各研究報告の間の結論は一貫性を欠いており、因果関係の分析が不足しているとの指摘もなされているため、今後の検証が必要である。

3.2. **総務省委託研究の結果について**

我が国では、平成９年から、総務省が大学等に委託する研究体制により、電波の安全性に関する研究が推進されている。前委員会報告書以降（平成 19 年度以降）に行われた総務省委託研究は、表 1.3 のとおりである。また、各委託研究の結果の概要を付録４にまとめる。

本検討会では、各委託研究が終了した際には、その成果についての報告を受け、国際的な研究の現状との比較検討を行うなど、研究結果の検証を行っている。これにより、電波防護指針の妥当性に関して、継続的な確認を実施している。また、研究結果を受けて、今後優先的に研究すべき課題等に関しても意見交換を実施している。

これらの委託研究の成果は、論文等の形で国内外に発信されている。平成 26 年 11 月に発表された WHO の EHC ドラフト版においても、これらの論文が多く引用されているなど（論文引用状況は、付録４のとおり。）、国際機関等による電波の健康影響に関するリスク評価に対しても、大きく貢献をしているところである。

[72] 付録３の該当箇所（P51～）を参照。

表 1.3：平成 19 年度以降に行われた総務省委託研究一覧

実施年度	研究課題名	研究の概要
H19 ～20	**携帯電話の電波ばく露に関わるヒトの症状に関する研究**	ボランティアの被験者に対し、携帯電話端末によるばく露を模擬した電波ばく露を行い、被験者の愁訴や客観的状態の変化を調査した。調査は、電波をばく露しているかどうか本人に分からないようにして行った。その結果、電波ばく露が違和感や心身の症状の原因になるという結果は得られなかった。携帯電話関連症候を訴えるグループでも、それ以外のグループでも結果は同様であった。
H19 ～21	**携帯電話端末からの電波によるヒトの眼球運動への影響**	電磁波がヒトの脳機能に与える影響の有無を調べるため、ボランティアの被験者に対し、携帯電話端末による電波ばく露を模擬した電波ばく露を行い、反射的及び随意的な眼球の運動への影響を調査した。その結果、眼球運動には有意な影響は観察されなかった。
H19 ～21, H22 ～24	**小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査**	小児・若年期の携帯電話端末使用の健康影響、特に脳腫瘍の発症リスクについて、疫学的研究を行った。国際共同症例対照研究である Mobi-Kids 研究に参加し、症例群（脳腫瘍群）、対照群（虫垂炎群）の情報を収集した。また、小児・若年者が携帯電話端末を使用した際のばく露評価を実施した。我が国における小児若年期の携帯電話使用者のコホート研究を実施して、使用状況の地域差、性・年齢による特徴などを経年的に把握した。
H19 ～21	**２GHz 電波全身ばく露による多世代にわたる脳の発達及び機能への影響**	電波ばく露による子供への影響を確認するために、ラットを用いて妊娠中から電磁波をばく露し、生まれた子にも一定期間全身ばく露を行い、それを３世代まで繰り返した。電波の強度は、電波防護指針値以下の場合及び指針値を上回る強度の場合の双方で実験を行った。結果、多世代にわたる発育、脳の発達・機能（行動、学習･記憶）及び生殖機能のいずれに対しても、電波ばく露の影響は見られなかった。
H19 ～21	**脳内免疫細胞に及ぼす電波ばく露の影響評価**	携帯電話使用による脳への影響の有無、特にこれまで研究の少なかった脳内免疫細胞（グリア細胞）への影響を確認するため、電波防護指針値以上の強度の携帯電話電波をラットの脳に長時間ばく露し、グリア細胞の変化を免疫染色で評価した。結果として、ラット脳のグリア細胞への明らかな影響は認められなかった。
H19 ～21	**電波の細胞生物学的影響評価と機構解析**	電波防護指針値以下の電波をヒト細胞にばく露し、熱ショックタンパク発現の有無やヒト細胞の未知遺伝子への影響の調査を行った。結果、熱ショックタンパクの発現は確認されなかった。また、電波ばく露後に２倍以上増加又は２分の１以下に減少した遺伝子は認められなかった。
H19 ～21	**ミリ波帯細胞用ばく露装置と物理的環境の検索**	60GHz のミリ波帯における細胞ばく露実験を、ばく露及び温度条件について精密に統制できるばく露装置を開発し、そのばく露特性評価を行った。そのために必要な技術として、感温マイクロ液晶カプセルを用いた高空間分解能温度分布の計測手法の開発も行った。開発したばく露装置を用いて細胞増殖速度及び熱ショックタンパク(Hsp70)遺伝子の発現への影響を調べた結果、変化は全て温度上昇によって説明できることが示され、本実験の条件では、ミリ波に固有の非熱作用は見られなかった。
H19 ～21	**小児に対する人体全身平均 SAR と体内深部温度上昇の特性評価**	電波ばく露による小児への影響は、成人に比して研究が不足していたため、小児の数値人体モデルを構築し、そのばらつきの検討及び電気定数の測定を行うなどの検証を行った。その上で、文献調査に基づき小児の熱調整系を推定、それを考慮に入れた体内深部温度上昇についての精緻な解析を行った。結果として、電波ばく露による乳幼児の体内深部温度上昇は成人に比べて小さいことが示された。これは、乳幼児の全身平均 SAR は成人よりやや高くなる傾向にあるものの、乳幼児は体重に対する体表面積の割合が大きいため、熱の放射がそれ以上に大きいためであることが分かった。
H19 ～21	**実験に基づく電磁界強度指針の妥当性評**	電波防護指針のうち測定が簡便な電磁界強度指針の指針値は、基礎指針から数値人体モデルを用いた計算により導出されている。

	価及び確認	その計算の妥当性を、新たな測定方法を開発することにより確認した。具体的には、人体以外に損失媒体の存在しない系に入射する電力及び系の外部へ放射される電力を高精度に測定することで、全身人体の吸収電力を求めた。この結果は、国内外の研究機関で行われている計算推定結果とほぼ一致していることが確認でき、計算推定の正しさを裏付ける有用なデータとなった。
H19 ～22	**ミリ波、準ミリ波帯電波の眼部ばく露による影響の指針値妥当性の再評価**	近年利用が進むミリ波、準ミリ波帯の電波の熱作用による生体影響の閾値をより精確に確認するために、家兎の眼部に 18-40 GHz の電波をばく露し、眼障害発生の有無を確認した。この周波数帯では周波数が高いほど眼内での発熱が高くなることが確認された。高強度の電波ばく露は発熱による眼障害を発生させる。電波防護指針値のばく露量では眼障害を生じず、指針値の妥当性が確認された。
H19 ～22	**頭部局所ばく露の及ぼす生体影響評価とその閾値の検索**	生体の頭部に局所的に電波をばく露した場合の熱作用による影響及び閾値等について確認するために、ラットの頭部に電波（1.5 及び 2.0 GHz）を局所ばく露しながら全身及び局所温度、局所脳血流を記録し、局所ばく露量と生体指標変化との関係を調べるとともに、脳血流の温度依存性についてモデル化を行った。生物学的及び工学的検討の結果、局所脳血流増加は局所電波ばく露により惹起された脳局所温度上昇に起因している可能性が示唆された。
H19 ～21, H22 ～24, H25 ～27	**電波の人体への安全性に関する評価技術**	電波利用技術の進展により多種多様な無線設備が実現されている中、実際の多様な無線設備から発射されている電波の強さが電波防護指針値以下であることを確認する技術を確立することを研究の目的としている（平成 21 年度までは、電波が生体に与える影響を明らかにするための生物実験用ばく露装置等の開発、改良及び保守をすることも目的とした。）。 この研究の成果は、適合性確認方法の国際標準や国内規制に反映され、より適切に簡便に安全性の確認を行うことを可能としている。
H20	**成人の携帯電話使用者の追跡調査研究**	これまで携帯電話の健康影響の疫学調査で主に行われてきた症例対照研究には、過去の携帯電話使用歴を想い出す際のバイアスが起こりやすいことから、それに代わる研究手段として、ばく露集団を長期的に追跡するコホート研究が日本で実施可能か検討を行った。文献調査やパイロット研究の結果、日本では費用・労力の観点からコホート研究の実施可能性は低いと結論した。
H20 ～21	**複数の電波ばく露による電波複合ばく露の生体への影響**	実環境では複数の電波波源がある場合が一般的であることから、複数の電波ばく露の生体影響を確認するための動物実験を行うため、基礎的検討を行った。
H20 ～22	**免疫細胞及び神経膠細胞を対象としたマイクロ波照射影響に関する実験評価**	ヒトの免疫細胞に電波をばく露し、基本的な機能であるサイトカイン分泌特性について影響の有無を確認した。また、同じく脳内免疫細胞である神経膠細胞に電波をばく露し、基本的な機能である IFN-γ に対する応答への影響の有無を確認した。いずれも有意な影響は確認できなかった。
H20 ～22	**携帯電話端末からの電波の睡眠に対する影響**	携帯電話端末の電波が睡眠に与える影響を確認するため、成人被験者に対する実験等を行った。実験では、一方の群（実ばく露群）には市販の第 3 世代携帯電話端末による 3 時間の電磁波ばく露を行い、一方の群（偽ばく露群）には実際にはばく露を行わなかった。実ばく露群と偽ばく露群では、翌朝の自覚症状、睡眠構築及び脳波の周波数分析結果に有意差はなかった。
H22 ～24	**電磁波のラット胎児造血器への影響評価**	携帯電話の電磁波による胎児の造血器への影響については WHO の研究課題（2006）となっている。その影響の有無を確認するため、ラットの胎児造血器に電波をばく露し、及ぼす影響の有無を確認した。電波防護指針を上回る強度の電磁波をラットにばく露した結果、その胎児の造血器への影響は認められなかった。
H22 ～24	**複数の電波ばく露による電波複合ばく露の生体への影響**	８種類の高周波電波をラットの母動物及び児動物にばく露し、成長、行動、学習・記憶、生殖機能への影響の有無を確認した。電波防護指針値程度の強度でばく露を行ったが、結果として、いずれにおいても電波ばく露の影響は見られなかった。

H22 ～24	**免疫システムの機能とその発達における電磁環境の影響に関する研究**	高周波電磁界の幼若な動物の免疫系の発達への影響についてはWHO の研究課題（2006）となっている。幼若動物及び培養細胞を用いて、高周波電磁界の免疫系への影響の指標を確認した。結果としては、いずれの指標においても基本的に電波による影響は見られなかった。
H22 ～24	**中間周波数帯の電磁界と人体との間接結合に関する影響調査**	中間周波数帯における接触電流の指針値のガイドライン間での相違を分析するため、体内に誘導される電流密度の解析手法を開発し、指針値の分析を行った。具体的には、10 MHz 以下において、低周波側の数値解析手法を用いた解析結果が、生体ファントムを用いた測定値と一致することを確認した。また、接触電流の過渡成分、定常成分ともに、脳や心臓における体内誘導電流は体表より２桁小さく、防護指針値において体内の重要組織は十分防護されていることを明らかにした。一方、ICNIRP ガイドラインで採用されている電界強度の 99 パーセンタイル値は、刺激される可能性のある指先等を除外してしまい、一部課題があることを確認した。
H23 ～26	**電波ばく露による眼部の定量的調査**	近年拡大しつつあるミリ波帯はほとんどのエネルギーが体表で吸収されるが、眼部は体表に露出しているため、特に影響を確認する必要がある。そのため、家兎の眼部に電磁波をばく露し、周波数に依存した眼障害の傾向等を確認した。また、防護指針値以下ではいかなる眼障害も誘発されないことを確認した。
H25 ～26	**国際共同症例対照研究における症例データの整理・分析・評価**	引き続き国際的疫学研究 Mobi-Kids に参加しつつ、スマートフォンなどの新しい携帯端末、Wi-Fi などの新しい通信手段の普及によるばく露量等の変化をコホート研究によって確認している。また、新しい携帯端末のばく露評価を実施して、低周波を含めた電磁界のばく露状況を確認している。
H25 ～26	**刺激作用の周波数依存性の定量的調査**	近年の複雑化する電波環境に対応して、刺激作用の閾値等を改めて確認することを目的としている。具体的には、開発した電流感知閾値実験システムを用いて被験者に対する実験を行い、一定の強度で電流強度を上げていく極限法により仮閾値を決めたのち、より正確な閾値測定をするため、刺激をランダムに提示する恒常法を用いて測定した。
H25 ～27	**超高周波の電波ばく露による影響の調査**	テラヘルツ波、ミリ波の電波の生体への影響について、フレーリッヒ仮説を念頭に調査研究を行っている。また、特に実用化に向けた検討が進む 120 GHz 及び 300 GHz の超高周波帯については、遺伝毒性並びに細胞機能の観点から評価を行っていく。本報告書の時点では研究を継続中である。
H25 ～27	**６GHz 超の周波数帯における局所ばく露時の健康影響閾値の評価**	電波に局所的にばく露された際の指針値としては、電波防護指針の局所吸収指針が適用される。しかし、研究データの不足のため、6GHz 以上の周波数帯による局所ばく露については規定がない。今後のこの周波数帯での携帯電話端末等の利用拡大に備え、6 GHz ～ 10 GHz において動物への局所ばく露実験を行い、人体モデルに対する吸収電力及び温度上昇の基礎検討を行うことにより、ガイドライン策定に必要なデータを収集する。本報告書の時点では研究を継続中である。

第４章．電波の人体への影響に関する見解

4.1. 長期的影響の可能性に関するリスクの評価

電波の熱作用・刺激作用による健康影響については、これまでの研究で閾値等が明らかになっている。また、これらの作用には蓄積効果がないことも判明しているため、閾値よりも低レベルの電波に長期間ばく露された場合でも、それらの作用による健康影響はない。そのため、閾値に安全率を付加して定められた電波防護指針の指針値を満足している場合は、熱作用・刺激作用による人体への影響は完全に防止されている。

一方、電波防護指針の指針値よりも低レベルの電波による熱作用・刺激作用以外の作用による健康影響（以下「長期的影響」という。）の可能性を指摘する声もある。この長期的影響の可能性については、第３章において、平成19年の旧委員会報告書以降に世界各国で行われた研究結果の現状分析を行った。

第３章で確認した通り、一部の疫学的研究により、腫瘍性疾患への影響の可能性について、限定的な証拠が報告されている。しかし、これらは、偶然、バイアス、又は交絡因子等の影響が排除されていないとの懸念が示されており、依然として確かな科学的証拠とは認められない。また、適切な実験条件で行われた動物研究、細胞研究、被験者研究などでは、腫瘍性疾患を含め、長期的影響が確認できなかったとする研究結果が積み上がっている。

これらを総合的に考慮して、本検討会は、長期的影響の可能性に関する現時点のリスク評価について、これまでの国内外の研究機関等による長期間の研究によっても、その存在を示す確かな科学的証拠は発見されていないものと認識することが妥当であると判断する。なお、影響の存在可能性を示す結果が一部の研究論文で報告されているが、これらは十分な再現性を確認できていない等の問題点が存在するため、引き続き、適切な手法による検証が必要である。

また、中間周波数帯や超高周波数帯については、これまでの研究データの蓄積が必ずしも十分ではない点も認められる。そのため、引き続き研究が推進され、その研究結果に基づいたリスク評価を今後行うことが望まれる。

これらの考え方は、WHO等の国際機関の見解とも一致するものであると認識する。

4.2. 「用心のための取組」に関する考え方

リスク管理に関する政策の検討においては、科学的研究に基づくリスク評価をもってしても、一定の不確実性を持つリスクについて、どのように管理

することが適切かという点が大きな課題になる。昨今、WHO 等において、健康上の安全性に関するリスク管理の考え方として、“Precautionary Approach”「用心のための取組」[73]という考え方が提案されている。この「用心のための取組」の範囲は、有害性の大きさと問題に関連する不確実性によって異なる。つまり、リスクを伴う有害性が小さく、発生が不確実であれば、何か措置を講じてもほとんど効果はない。一方、潜在的な有害性が大きく、その発生がほぼ確実であれば、禁止措置などの根本的措置が必要である。この観点から、「用心のための取組」は、その有害性と不確実性に応じて、”ALARA”(As Low As Reasonably Achievable:「合理的に達成できる限り低く」の頭文字)、「用心のための原則」(Precautionary Principle)、「慎重なる回避」“Prudent Avoidance”の3種類に分類される。

“ALARA”は、リスクが確率論的なものであって、閾値が存在しない(ごくわずかな量のばく露であっても、健康への影響が起こり得る)と推定されている場合に限られる管理政策とされており、電離放射線のリスク管理政策において用いられている。つまり、”ALARA”は、リスクを最小化することが必要なリスク管理において採用されるものと考えられる。また、”ALARA”を採用する際は、経費や効果、実行可能性などの要因を考慮した上で実施すべきものとされている。

「用心のための原則」は、現時点では科学的に確認されていない未知のリスクであっても、科学的不確実性が大きく、潜在的に重大になり得るものに対して、何らかの方策を適用するとの考え方とされる。電波の人体への影響についても、現時点においては一定程度の科学的不確実性を持つものとされるため、この原則を適用することの是非について、様々な意見が呈されている。

「慎重なる回避」は、その対策がリスクを低減することは科学的な観点からはほとんど期待できなくとも、低いコストや実効可能性を考慮した上で対策を採用するリスク管理の方策のことであり、もともと北欧諸国等における低周波電磁界分野のリスク管理において提唱された考え方である。

WHO 国際電磁界プロジェクトは、2000 年に公表した「用心のための政策」[74]

---

[73] 本報告書では”Precaution”と”Prevention”の違いを明確にするため、“Precautionary Principle”の訳語として、「用心のための原則」という訳語を採用している。”Precaution”は、科学的不確実性が大きいリスクへの対処という意味を含むため、「念のため」や「用心のため」といった訳語が適切である。一方、”Prevention”は科学的にハザードが同定されている場合のリスクの防止を意味するという用語であり、「予防」に近い。

[74] “Backgrounder on Cautionary Policies”(WHO Backgrounder, March 2000) http://www.who.int/docstore/peh-emf/publications/facts_press/EMF-Precaution.htm

において、これらの「用心のための取組」を電磁界に適用することついての見解を表明している。”ALARA”については、低レベルのばく露でリスクがあるとは思われないこと及びばく露は至る所で生じることを考えると、電磁界（商用周波と無線周波のどちらについても）に適した方策ではないとしている。「用心のための原則」の適用については、健康影響の明らかな証拠がないこと、電磁界が遍在する中で公正で一貫性のある施策の実施が困難であることなど、政策の適用上多くの問題があるとの見解を示している。そして、電磁界に対する「用心のための取組」は、十分な注意と慎重さをもって初めて採用すべきで、原則としてこの取組の適用に否定的な立場であるが、「慎重なる回避」によるリスク管理は正当化されるかもしれないと述べている。

また、2007 年に公表した低周波電磁界についての EHC においては、科学に基づく国際的ガイドライン [75]を採用することを奨励しており、もし指針を補足するために用心のための方策を考慮する場合であっても、科学に基づくガイドラインを損なうことがないような方法で適用されるべきであるとしている。

EU においては、欧州委員会が 2001 年に公表した報告書 [76]において、電磁界による長期的影響の懸念は「用心のための原則」を適用するには科学的証拠が不十分とされている。また、そのリスク管理政策においては、確立された作用（熱作用・刺激作用）に対する防護を行うことを推奨している。一方で、更なる研究の必要性は認められることから、研究を推進し、継続的に最新の研究結果を踏まえたリスク評価を実施することとした。これを受け、欧州委員会の諮問機関である SCENIHRにおいて、2007 年、2009 年、2015 年に最新の研究結果に基づく公式のリスク評価の報告書が作成・公表されているところである。これまでのところ、これらのリスク評価を受け、上記に示した欧州委員会の見解は、引き続き妥当とされているところである [77]。

日本では、平成 19 年に公表された「生体電磁環境研究推進委員会」の報告書において、WHO の見解と同様に、現状の電波防護指針は予防的措置として十

[75] ICNIRP のガイドライン及び IEEE のガイドラインを指す。

[76] ” Implementation report on the Council Recommendation -limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz).”。 1998 年の欧州理事会勧告、“COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz”）（同時に ICNIRP ガイドラインの指針値の採用を勧告している） における依頼に応え、欧州委員会に対して関係各国からの報告や最新の科学的知見等を踏まえて作成した報告書。

[77] なお、EU の公式的見解は上記の通りであり、EU 構成国の多数が勧告に従い ICNIRP のガイドラインを採用している。一方、構成国は、望む場合には ICNIRP ガイドライン以上の規制値を設けてもよいとされており、幾つかの国において、ICNIRP ガイドラインの指針値をもとに独自の厳しい基準が設定されている。これについては、各国の規制値の具体的な科学的根拠は必ずしも明確ではなく、各国のリスク管理政策における調整の結果と考えられる。

分妥当であると評価している。また、第３章で分析したとおり、最新の研究においても、長期的影響の存在について新たな科学的証拠は得られていないと認められる。

以上より、本検討会としては、電磁界ばく露に関するリスク管理においては、現時点で、「用心のための原則」を適用すべき状況ではないと判断する。

なお、「慎重なる回避」の採用については、リスク低減の確実性に欠ける対策ではあるが、電磁界ばく露量を低減するための方策として実施することは可能である。しかし、そうした取組を行う場合は、科学的知見やそれに基づく電波防護のための指針値の信頼性を損なうおそれについて、十分に排除されることが必要である。そのため、様々な環境における実際のばく露量等について正確な情報の提供など、積極的なリスク・コミュニケーションを行うことが望まれる。

4.3. いわゆる「電磁過敏症」についての考え方

携帯電話などから発生する電磁界へのばく露を“感知”する、あるいはばく露に“過敏”に反応するとして身体症状を訴える人が一部で存在する。そのような人は、典型的には、例えば携帯電話端末の使用に伴って頭痛、皮膚のかゆみ、不快感・不安感、温かい感覚などの非特異的な症状を、より頻繁にかつ強い強度で感じるという症状を訴える。

これについて、WHO は、ファクトシート No.296「電磁過敏症」（2005 年 12 月）において、次のように結論している。その特徴については、「EHS[78]は、人によって異なる多様な非特異的症状が特徴です。それぞれの症状は確かに現実のものですが、それらの重症度はまちまちです。EHS は、その原因が何であれ、影響を受けている人にとっては日常生活に支障をきたす問題となり得ます。EHS には明確な診断基準がなく、EHS の症状を電磁界ばく露と結び付ける科学的根拠はありません。その上、EHS は医学的診断でもなければ、単一の医学的問題を表しているかどうかも不明です」としている。また、政府の採り得る施策としては、「政府は、電磁界の健康影響の可能性に関する情報を、EHS の人々、医療専門家、雇用主に向けて、バランスよく、適切に提供すべきです。このような情報の中には、EHS と電磁界ばく露との結びつきに関する科学的根拠は現在、存在しないという明確な声明を含めるべきです。」としている。また、第３章で確認した最新の研究結果は、この見解を裏付けるものであると考えることができる。

[78] Electromagnetic Hypersensitivity の略語。いわゆる「電磁過敏症」のこと。

そのため、本検討会は、これに関する現時点のリスク評価としては、いわゆる「電磁過敏症」等の症状と電波ばく露の因果関係について確かな科学的証拠は現時点で発見されておらず、電波の健康リスク管理において考慮すべき状況にはないと判断する。また、政府により、これらの関係する情報が、「電磁過敏症」の症状を訴える人々を含め、関係者に適切に提供されることが重要である。

なお、「電磁過敏症」を訴える人に対しては、臨床的に不安、苦しみを取り除く対応が必要である。そのため、これらの人の不安を取り除くことができるよう、電磁界の人体への影響について客観的・科学的に実態を捉え、確かな科学的根拠のあるデータを、関係者に広く提示していく努力を続けていくことが必要であると考えられる。

4.4. **電波防護指針の妥当性に関する評価（リスク管理の在り方）**

これまでに検討してきたとおり、熱作用・刺激作用以外による健康影響は、依然としてその存在を示す確かな科学的証拠は見つかっておらず、「用心のための原則」も適用しないことが妥当と判断される。そのため、現在の知見からは、電波防護指針を適用することで、電波の安全な利用が担保されるものと本検討会は認識する。

ただし、新しく利用が拡大しつつある周波数帯などでは、研究の蓄積が必要な課題も存在するため、長期的影響に関する調査研究は今後も継続することが重要である。特に、無線電力伝送システムで用いられている中間周波数帯やレーダー・センシング・通信等で利用拡大が見込まれているミリ波・テラヘルツ波については、これまでに必ずしも十分な研究が行われていないため、電波防護指針値の根拠を再確認するための研究が必要と考えられる。これらの周波数帯における電波利用機器の開発は、我が国が世界を先導していることもあり、人体防護に関する研究についても、我が国からのより一層の貢献が求められる。

また、電波防護指針については、最新の科学的知見や電波利用状況の変化等を継続的に調査分析することにより、その妥当性について継続的に検証することが重要である。今後、WHO の RF 電磁界に関する EHC 発刊及び ICNIRP の高周波電磁界のガイドラインの改定に合わせて、電波防護指針の改定についても速やかに検討を開始することにより、国際的ガイドラインとの調和を維持することが適切と考えられる。

第５章．今後の取組について

本章では、第3章による生体電磁環境に関する研究の現状分析、第4章による長期的影響の可能性に関するリスク評価の結果等を踏まえ、今後とも電波を安全かつ安心して使用できる環境を確保するために必要な施策についての提言を行う。

5.1. 電波法令による規制についての考え方

一般に、電波利用設備は、妥当な適合性確認方法が確立されていることを前提として、人体への影響を防止するための法的規制の対象とされるべきである（出力が極めて小さいもの等の規制の必要性が低いものを除く。）。その考えに基づき、我が国においては、電波防護指針に基づき、電波法令による人体防護のための規制が導入されている。海外の多くの国においても、第2章で確認した通り、国際的ガイドラインに基づく基準値が法的規制として導入されているところである。今後とも、電波防護指針に基づき、最新の科学的知見を根拠とした、国際的なリスク評価と調和した人体防護に関する規制を維持することが適当である。そのため、電波防護指針の関連部分が新たな科学的知見等に基づき改定された際は、速やかに電波法令における規制について改正を行うことが適当である。その際には、その適合性を確認するための方法についても合わせて検討を行うことが必要である。

また、今後、新たな電波利用機器の開発・普及、使用周波数領域の拡大が想定されるが、電波法令による規制もこれに迅速かつ適切に対応する必要がある。そのため、将来の電波利用機器、新たな周波数帯に対応した適合性確認方法に関する調査研究について、電波利用動向を勘案しつつ、社会的影響など重要度の高いものから順次実施することが適切である。

5.2. 電波の安全性に関するリスク・コミュニケーション

これまでの研究において指針値以下の電波による人体への影響は確認されていないが、インターネット等を通して様々な情報が流通していること等から、国民からの不安の声は依然として一定程度存在する。この対応においては、行政から国民への一方向の情報提供を行うだけでなく、国民との間での対話（リスク・コミュニケーション）を促進することが重要である。このようなきめ細やかな対応を行うことにより、電波の影響についての正しい理解が広がり、人体防護に関する施策の信頼感を高めることができると考えられる。

リスク・コミュニケーションに当たっては、「リスク」に関する正しい理解が必要である。潜在的に人の健康に害を与え得る物体あるいは状況は「ハ

ザード」と呼ばれるが、リスクは、ある特定のハザードが人に害を与える度合いのことをいう。現実世界では、あらゆる行動は一定のリスクを伴うため、リスクを低減することは可能であるが、リスクをゼロにすることは不可能である。WHO のリスク・コミュニケーションに関するハンドブック[79]では、これを考慮し、政府・科学者・産業界・国民の間で、不確実性やリスクに対する判断を行うために必要なコミュニケーションを行うことが重要としている。この際、科学者はリスク評価について科学的根拠とともに分かりやすく明確な説明を行うこと、政府はリスク評価に基づく安全のための規制等の政策について十分に偏りなく説明することが重要であるとされている。

総務省では、科学者の協力を得つつ、科学的専門性を含む情報を「電波の安全性に関する説明会」等を通じて国民に分かりやすく伝えるとともに、対話を行うリスク・コミュニケーション施策を行っている。今後とも、最新の専門的知見に基づいた国民とのリスク・コミュニケーションをより円滑に進めるために、電波を利用する国民、地方公共団体の関係者等に対し、リスク評価の結果、リスク管理施策などについて、説明会、電話相談、インターネット、パンフレット等を通じた丁寧で分かりやすい情報共有を行うことが重要である。また、説明会の場の設定、説明の方法など、継続的にリスク・コミュニケーションの改善方策を検討していくことが望ましい。

5.3. 関係者の果たすべき役割

国民が安全かつ安心して電波を利用できる社会を構築するためには、関係機関等が適切に連携しつつ、それぞれの役割を果たすことが重要である。

（１）政府（総務省）の役割

総務省は、電波が人体に与える影響の調査・研究を継続的に推進し、その調査結果等に即した必要な規制及びその適合性確認方法を制定することにより、安全・安心な電波利用環境の構築に努めるべきである。また、調査・研究の結果や規制の内容について、国民、地方公共団体の関係者、通信事業者等へ幅広く周知広報を行うべきである。なお、この際、電磁界の健康影響に関係する府省により構成される「電磁界関係省庁連絡会議[80]」等を通じて、必要に応じて関係各省と連携することが重要である。

---

[79] リスク・コミュニケーションの意義や方法等について、WHO から主に政策決定者を対象としたハンドブック「電磁界のリスクに関する対話の確立」(Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields) が 2002 年に公表され、日本語を含む各国語に翻訳されている。

[80] 平成８年４月に関係省庁が電磁界の健康影響に関する諸問題について情報交換を行うことを目的として設置されたもの。環境省が主催しており、総務省、文部科学省、厚生労働省、経済産業省及び国土交通省が参加している。

（2）電波を利用する事業者・電波利用機器メーカの役割

電波を利用する事業者・電波利用機器メーカは、電波防護指針の指針値を遵守することにより、提供するサービス・製品が発する電波の安全性を確保するべきである。また、その電波の安全性について、関連する情報を調査・収集した上で、利用者に対して必要な情報を公表することが望ましい。

特に、携帯電話基地局に関する情報について、携帯電話事業者は、現在でも開設の際に必要な情報を周辺住民に説明しているところであるが、引き続きこの取組を継続することが重要である。携帯電話端末について、通信機器メーカは、法的義務に基づいて、比吸収率[81]の基準値を満たした安全な製品を製造する。各携帯電話事業者は、現在でも提供する端末の比吸収率の値を各社ウェブサイト等にて公表しているが、この取組を含めて、引き続き電波の安全性について十分な情報公開及び丁寧な説明を実施していくことが重要である。

（3）大学・研究機関の役割

大学・研究機関等の研究者は、電波が人体に与える影響についての科学的知見を蓄積し、一部に存在する不確実性を解消するため、引き続き調査・研究を推進すべきである。その際、調査研究を行う際は、3.1.1.に述べた留意点を満たす研究計画とすることが望ましい。また、研究の推進に当たっては、国際的な研究の現状を十分に把握し、新たな電波利用形態や利用周波数帯の拡大にも対応した研究を行うことが重要である。さらに、電波防護指針に適合していることを確認するためのより実用的な評価技術の確立も引き続き重要である。

加えて、国民への説明会等において、政府や通信事業者等の求めに応じて、科学的知見に基づき、かつ分かりやすい説明を行う等の協力を行うことが望ましい。

大学・研究機関においては、研究者が上記の活動が円滑に行えるような環境が整備されることが望ましい。

5.4. 新たな ICT 機器への対応

近年、ワイヤレス電力伝送（WPT）、ウェアラブル機器など、新たな形態の電波利用機器が開発されつつある。また、これまではあまり利用されていな

[81] 比吸収率（SAR：Specific Absorption Rate）：生体が電磁界にさらされることによって単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量をいう。SAR を全身にわたり平均したものを全身平均 SAR、人体局所の任意の組織１ｇまたは 10g にわたり平均したものを局所 SAR という。

かった周波数帯（中間周波数帯や超高周波数帯（ミリ波帯、テラヘルツ帯等））においても、その利用に向けた開発が進められている。

電波防護指針は、機器の形態によらず、10kHz～300GHｚまでの周波数帯で適用が可能であるが、このような新しい電波利用機器に適用する場合には、その適合性確認に関する技術を確立することが必要である。また、従来にないばく露条件に対し、よりきめ細かな人体防護をするための新たな指針の策定についての検討も必要である。特に、今後普及が見込まれている新たな機器等に対する現時点の考え方は以下の通りである。

（1）中間周波数帯を利用する機器（ワイヤレス電力伝送等）

WPT設備は、電波法令では高周波利用設備として位置付けられるものである。スマートフォンの充電等に使用が想定される6MHz帯磁界結合型及びノートPCの充電等に使用が想定される400kHz帯電界結合型WPTについては、既に技術的条件や電波防護指針への適合性の確認方法が情報通信審議会一部答申により定められている。一方、電気自動車向け WPT システムについては、情報通信審議会において引き続き審議が進められており、平成27年（2015 年）夏頃に答申がされる予定である。本システムは特に大きな出力を発生させることが想定されているため、電波防護指針への適合性の確認方法についても検討され、適切な人体防護策が講じられることが必要である。なお、WPT が使用する中間周波数帯については、平成 27 年３月の情報通信審議会一部答申により電波防護指針が改定されているため、この改定後の指針値等を遵守する必要がある。

電波防護指針における局所吸収指針は、適用下限周波数が 100kHz であるため、100kHz 以下の周波数帯における WPT 機器が人体に近接して使用される場合、局所吸収指針を適用した評価を行うことができない。そのため、WPT 機器に対して基礎指針による評価を行うための方法が、情報通信審議会答申により定められている[82]。今後は、WPT 機器が様々な用途で利用されることを想定すると、WPT 機器が人体の近傍で使用される場合の電波防護指針への適合性を適切かつ効率的に確認する手法について検討することが必要と考えられる。

また、改定された電波防護指針は、中間周波数帯においても科学的根拠に基づいた指針値が設定されているものであるが、その検証に用いられた研

[82] 昭和 63 年 9 月 26 日付け諮問第 3 号「国際無線障害特別委員会（CISPR）の諸規格について」のうち「ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」のうち「6 MHz 帯の周波数を用いた磁界結合型ワイヤレス電力伝送システム及び 400 kHz 帯の周波数を用いた電界結合型ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」に関する一部答申（平成 27 年 1 月 21 日）

究の質及び量は、他の周波数帯に比較すれば少ないのが現状である。今後の中間周波数帯の利用拡大に向けては、当該周波数帯における生体電磁環境研究の更なる推進が重要である。

（2）高周波数帯を利用する機器

今後、レーダ、センシング、通信等の分野において、ミリ波帯、テラヘルツ帯を含む超高周波数帯の利用が進展することが想定される。この周波数帯についても、電波の安全性に関する調査・研究は進められてきており、国際的ガイドライン及び電波防護指針において科学的根拠に基づいた指針値が設定されている。しかし、中間周波数帯と同様に、他の周波数帯に比較すれば研究の質・量ともに十分ではなく、その安全性を検証するための今後の更なる研究の推進が望まれる。

また、高周波数帯における電波防護指針への適合性確認に関する技術を確立することも必要である。特に、現在の局所吸収指針の適用周波数の上限は 6GHz であるため、これより高い周波数帯を利用する電波利用機器が人体近傍において使用される場合、局所吸収指針を適用した評価を行うことができない。この場合には、基礎指針に立ち返った評価により、電波防護指針への適合性を確認する必要がある。今後の超高周波数帯の利用拡大に向けて、簡潔かつ適切な適合性評価を可能とするために、局所吸収指針の周波数上限の拡張について検討が必要である。

（3）ウェアラブル機器、M2M 機器[83]等

現時点で開発されているこれらの機器に搭載される無線機器は、ほぼ全てが出力の非常に小さいものであるため、例えばウェアラブル機器が身体に密着して使用された場合においても、電波防護指針（局所吸収指針）の指針値を満たすものと考えられる。そのため、基本的に安全性が確保されているものと考えられるが、機器の開発者等は、実際の電波への人体ばく露量についての信頼性が高いデータを取得すること等により、安全性について利用者に丁寧に説明していくことが必要と考えられる。

ただし、今後、新たな機器の開発動向によっては、電波防護指針の改定、ひいては電波法令の改正について検討する必要が生じる可能性がある。そのため、関連する技術開発及び機器の普及動向等を注視し、適切な時期に必要な調査研究を実施することが必要である。

---

[83] M2M（Machine to Machine）：機械と機械が通信をすることにより、自律的に高度な動作を行うことをいう。

5.5. 今後取り組むべき研究課題

生体電磁環境に関する調査研究は、世界各国で60年以上にわたって実施されてきている。しかし、依然として研究の蓄積が必要な事項が残されているのが現状である。我が国においては、WHOから示された研究課題、我が国の研究実績、諸外国政府の研究報告における最新の情報等を総合的に勘案し、今後積極的に取り組むべき研究課題を選定することが重要である。また、WHOのEHCの刊行等、関係する動向の変化に迅速に対応するため、研究課題の継続的な見直しを行うことが必要である。

今後の利用の拡大が見込まれる中間周波数帯、ミリ波帯については、刺激作用及び熱作用の閾値の妥当性を検証する研究、長期的影響の可能性を探索する研究ともに数が限られており、引き続き研究を積み重ねていくことが必要である。加えて、これらの周波数帯を利用する機器に関して、指針値への適合性を評価する技術の確立が不十分であることも課題として挙げられる。そのため、我が国においても、適合性評価技術の研究を引き続き推進することにより、国際規格等における標準化に貢献していくことが必要である。

現在、携帯電話の長期的影響の有無を中心に調査が行われている疫学的研究については、人が日常において電波にばく露される量を正確に測定・推定することにより、研究結果の評価・検証を引き続き行っていくことが重要である。そのため、これまでに行われてきた疫学的研究における不確定要因の定量的調査や、今後の疫学的研究の質の向上に向けたばく露量データの収集等が重要であると考えられる。合わせて、長期的影響の可能性に関する動物実験、細胞実験等の実験的研究についても、国際的な研究動向を把握しつつ、必要な研究を適切な時期に実施することが必要である。

電磁界のばく露に関する情報は、疫学的研究の検証だけでなく、電波の健康影響に関する国民の正確な理解の増進にも寄与するものである。今後、電波利用機器の数、種類がますます増加し、電磁界のばく露に関する状況がますます複雑化する中、正確なばく露量を把握することはますます困難となることが想定される。そのため、様々な実環境における電波ばく露状況のモニタリング調査や、ばく露の各要因をモデル化することによるばく露量シミュレーションなど、ばく露データに関する調査・分析を今後更に進めることが必要と考えられる。

第２部　電波の植込み型医療機器等への影響について

第１章　これまでの取組

1.1. 総務省による指針の策定

近年、携帯電話をはじめとする様々な電波利用機器の普及が進展しているが、これらの電波利用機器が植込み型医療機器（植込み型心臓ペースメーカ[84]等）に近接すると、医療機器に誤作動を発生させ、植込み型医療機器の装着者（以下「装着者」という。）の健康に悪影響が生じる可能性がある。このような影響を防止するため、電波利用機器の利用者、装着者、双方の機器の製造者等が影響の発生・防止に関する情報を共有することを目的として、総務省は平成17年（2005年）に「各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針」（総務省植込み型指針。参照URL：http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/ele/medical/chis/index.htm）を発表した。

総務省植込み型指針においては、携帯電話端末、電子商品監視装置[85]（EAS機器）、RFID[86]機器等の電波利用機器ごとに、影響の防止のために適切な離隔距離[87]等の情報と、装着者、電波利用機器の利用者等に対する注意事項が記載されている。また、総務省植込み型指針は、平成17年（2005年）以降も新たな電波利用機器への対応などのため、調査に基づき定期的に見直しが行われている。

1.2. 総務省植込み型指針の対象範囲

平成26年（2014年）５月時点において、総務省植込み型指針が対象としている電波利用機器は表 2.1 の通り。対象としている植込み型医療機器は、植込み型心臓ペースメーカ（以下「ペースメーカ」という。）、植込み型除細動器[88]（以下「除細動器」という。）及び心不全治療用トリプルチャンバー型植込み型心臓ペースメーカ[89]（平成 16 年以降追加。以下「ペースメーカ」

---

[84] 植込み型心臓ペースメーカ：心拍数が異常に減少し、十分な血液を送り出せなくなった状態（徐脈）の心臓に電気刺激を加えて正常な心拍数を維持させる治療のために、体内に植込まれて使用される医療機器。

[85] 電子商品監視装置：万引き防止ゲートなどと呼ばれていた、盗難防止ゲート。図書館などでも利用されるようになり、「万引き」の言葉は不適切ということで呼称が改められた。EAS とも呼ばれる。

[86] RFID：商品や物体に認識情報（商品コード、価格等）を記録したタグと呼ばれる微小物体を付け、その記録情報を電波等を使って無線的に読み出す機器やシステムあるいは技術を指す。

[87] 離隔距離：電磁干渉を生じないように、電波発射源等から離れることが推奨される距離。

[88] 植込み型除細動器：心拍数が異常に増加し、心臓の筋肉が震えた状態になり、血液を送り出せなくなった致死性の病状（心室細動）を治療するために、体内に植込まれて使用される医療機器。ICD（Implantable Cardioverter Defibrillator）とも呼ばれる。

[89] 心不全治療用トリプルチャンバー型植込み型心臓ペースメーカ：左右の心室の収縮タイミングがずれ

に含める。）、心不全治療用トリプルチャンバー型植込み型除細動器[90]（平成18年以降追加。以下「除細動器」に含める。）である。

なお、平成26年（2014年）4月17日の第10回生体電磁環境に関する検討会において、その他の植込み型医療機器（植込み型神経刺激装置[91]や植込み型輸液ポンプ[92]等）についても、それらの機器の普及状況等に鑑み、今後、影響調査を行うことが確認された。

て、十分な血液を送り出せない（心不全）心臓の左右両心室に電気刺激を加え、タイミングのずれを矯正して、心不全を治療する機能を有した**植込み型心臓ペースメーカ*84**。両心室ペースメーカ、除細動機能なし心再同期治療装置などとも呼ばれる。

[90] 心不全治療用トリプルチャンバー型植込み型除細動器：左右の心室の収縮タイミングがずれて、十分な血液を送り出せない（心不全）心臓の左右両心室に電気刺激を加え、タイミングのずれを矯正して、心不全を治療する機能を有した**植込み型除細動器*88**。両心室ICD、除細動機能付き心再同期治療装置なども呼ばれる。

[91] 植込み型神経刺激装置：体内に植込んで、神経を電気刺激することで疾病を治療する医療機器。除痛、尿・便失禁、パーキンソン病、その他の治療に使われている。

[92] 植込み型輸液ポンプ：体内に植込んだポンプで、薬液を投与して疾病を治療する医療機器。痙性麻痺の治療等に使われている。

表 2.1　総務省植込み型指針が対象としている電波利用機器
（平成 26 年（2014 年）５月時点）

■携帯電話端末	・W-CDMA[93,94]（800MHz,1.7GHz,2GHz,） ・W-CDMA(HSDPA)(1.7GHz) ・W-CDMA(HSUPA)(800MHz,1.7GHz,2GHz) ・CDMA2000 1x/CDMA2000 1xEV-DO(Rev.0)(2GHz) ・CDMA2000 1xEV-DO(Rev.A)(800MHz,2GHz) ・LTE[95](800MHz,1.7GHz,2GHz) ・複数電波を同時発射する機器[W-CDMA(800MHz、1.5GHz、1.7GHz、2GHz)と無線 LAN(IEEE802.11n（2.4GHz、5GHz））］の組合せ
■ＰＨＳ端末	・PHS(1.9GHz)
■携帯電話用 小電力レピータ[96]	・CDMA2000 1X／CDMA2000 1x EV-DO※（800MHz、2GHz）用　※1xEV-DO Rev.Aを含む
■ワイヤレス カードシステム	・近接型（13.56MHz） ・近傍型（13.56MHz）
■電子商品監視装置 （ＥＡＳ機器）	・磁気方式（200Hz～14kHz） ・電波方式（1.8～8.2MHz、2.4GHz） ・磁気自鳴方式（22～37.5kHz） ・音響磁気方式（58kHz） ・複合方式（電波方式＋磁気自鳴方式）（22～37.5kHz、8.2MHz）
■ＲＦＩＤ機器	・ゲートタイプ(135kHz 以下、500kHz、13.56MHz) ・ハンディタイプ（135kHz 以下、13.56MHz、300MHz、2.4GHz） ・据置きタイプ(135kHz 以下、13.56MHz、300MHz、2.4GHz） ・モジュールタイプ（135kHz 以下、13.56MHz、

[93] CDMA 方式：Code Division Multiple Access（符号分割多元接続）の略号。同一の周波数で複数の通信（多元接続）を行うために用いられる通信技術の一方式。一般的にこの方式の携帯電話が、第三世代携帯電話と呼ばれる。CDMA2000 1x、CDMA2000 1xEV-DO、W-CDMA 等はこの方式の一種。

[94] W-CDMA：Wideband Code Division Multiple Access の略号。**第三世代携帯電話*93** で採用されている通信方式。

[95] LTE：Long Term Evolution の略号で、次世代携帯電話の通信規格を指す。

[96] 携帯電話用小電力レピータ：地下街、トンネル内等の電波が届きにくい場所で、地上のアンテナと、地下街、トンネル内等のアンテナをケーブル及び増幅器で接続し、携帯電話を使用できるようにする装置。

	300MHz） ・ハンディタイプ（950MHz） ・据置きタイプ（950MHz） ・組込みタイプ（950MHz）
■無線ＬＡＮ	・IEEE802.11[97]（2.4GHz） ・IEEE802.11b（2.4GHz） ・IEEE802.11g（2.4GHz） ・IEEE802.11a（5GHz）
■WiMAX 方式[98]の 無線通信システム端末	・データカード型（2.5GHz） ・ノート PC 内蔵型（2.5GHz）

1.3. 総務省植込み型指針の経緯、実測調査結果等のまとめ

我が国では、平成７年（1995 年）以降、ペースメーカ、除細動器への電波の影響について調査が進められ、郵政省、厚生省や携帯電話事業者等が参画する「不要電波問題対策協議会」（現在は「電波環境協議会」に改称。）において、平成８年（1996 年）に影響を防止するための暫定指針、平成９年（1997 年）に指針「医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話端末等の使用に関する指針」が公表された。この指針では、当時のペースメーカに、当時の第二世代携帯電話[99]サービス（PDC[100]）の端末から最大で 15cm の離隔距離で影響を受けるものがあったことから、安全率を考慮して、携帯電話端末からは 22cm 離すこととされた。平成 12 年（2000 年）以降は、総務省において継続的に各種の電波利用機器からの電波の影響（影響の出る距離や影響の強さ（レベル）等）の調査が実施されており、調査結果をもとに平成 17 年（2005 年）に総務省植込み型指針がまとめられた。その後も毎年度調査を行い、最新の調査結果を総務省植込み型指針に反映してきている。

なお、調査を実施する際は、有識者による議論により調査方法・評価等を決定している。調査対象の植込み型医療機器の選定については、国内で使用されている機器のうち調査を実施可能な機種から、可能な限り網羅性を確保

アイトリプルイー
[97] IEEE802.11、11a、11b、11g：ＩＥＥＥ（米国電気電子学会）が策定した無線 LAN の通信規格。

[98] WiMAX 方式：Worldwide Interoperability for Microwave Access の略号で、電波を利用してコンピュータを無線的にインターネットに接続する無線通信技術の規格。

[99] 第○世代携帯電話：携帯電話の通信方式によって世代分けをしたもので、大まかにいうと、アナログ方式が第一世代、**TDMA 方式**[*110]及び **CDMA 方式**[*93]の一部が第二世代、**CDMA 方式**[*93]が第三世代、**LTE 方式**[*95]のものが第四世代といえる。

[100] PDC：Personal Digital Cellular の略号で、日本の第二世代携帯電話の通信方式を指す。**TDMA 方式**[*110]が使われていた。

するよう選定している。また、電波発射源の出力や植込み型医療機器の感度等は、影響の出やすい最悪条件に設定して、影響評価試験を行っている。

これまでに行われた調査結果の概要は、下記表 2.2 のとおりである。

また、主な調査結果とそれを受けた総務省植込み型指針における記載の概要を下記に示す。詳細は総務省植込み型指針を直接参照すること。

①携帯電話端末からの影響について

ペースメーカへの影響は、表 2.2 のとおり、病状の悪化にまでつながるものはないが、最大で３cm の距離でレベル２（持続的な動悸、めまい等の原因になりうるが、その場から離れる等、患者自身の行動で現状を回復できるもの）の影響が一部のペースメーカで確認されている。携帯電話端末からの除細動器への影響は、これまでの調査で確認されていない。

上記の調査結果を受け、総務省植込み型指針では、15cm 程度以上離すこと等の注意事項を定めている（「1.6. 植込み型医療機器の国際的規格等の動向及び日本の対応」において詳述）。詳細は総務省植込み型指針を直接参照すること。

②PHS 端末からの影響について

ペースメーカ、除細動器とも調査で影響を受けたものは無かったが、指針では、携帯電話端末と外見上容易に区別がつきにくいため、PHS 端末の所持者は、必要に応じて植込み型医療機器の装着者に配慮することが望ましいとしている。

③携帯電話用小電力レピータからの影響について

ペースメーカ、除細動器とも調査で影響を受けたものはなかった。指針では、安全施設の設置も考慮すると、特別の注意は必要としないとしている。

④ワイヤレスカードシステムからの影響について

ペースメーカは、８cm の距離でレベル２の距離で影響が出る機種があった。除細動器への影響は、調査では確認されなかった。これを受け、総務省植込み型指針では、12cm 程度以上離すこと等の注意事項を定めている。

⑤EAS 機器（電子商品監視システム）からの影響について

調査結果においては、ペースメーカでは、ゲート型の EAS 機器から最長 280cm の距離でレベル２の影響が出た機種、除細動器では、ゲート型の EAS 機器から 42.5cm の距離でレベル４（直ちに患者の病状を悪化させる可能性

があるもの）の影響が出た機種等が確認された。

上記の影響が確認されているため、総務省植込み型指針では、装着者は、EAS機器設置場所では、立ち止まらず通路の中央をまっすぐに通過すること、寄りかかったりしないことなどの注意事項を定めている。詳細は総務省植込み型指針を直接参照すること。

⑥RFID機器からの影響について

調査結果においては、ペースメーカでは、ゲートタイプのRFID機器から最長50cmの距離でレベル２の影響が出た機種、除細動器では、据え置きタイプのRFID機器から６cmの距離でレベル４の影響が出た機種等が確認された。

上記の影響が確認されているため、総務省植込み型指針では、装着者は、ゲートタイプRFID機器設置場所では立ち止まらず通路の中央をまっすぐに通過し、寄りかかったりしないこと、それ以外のRFID機器設置場所では所定の離隔距離を確保することなどの注意事項を定めている。詳細は総務省植込み型指針を直接参照すること。

⑦無線LAN（IEEE802.11.11b/g/a）機器からの影響について

調査した植込み型医療機器のうち１機種のみに影響（アクセスポイントからは最大６cmでレベル２、子機からは１cm未満でレベル２）が発生したことから、厚生労働省の協力を得て、医療機関を通じ同機種の装着者全員に対して、試験結果に基づく注意喚起が行われている。

よって、総務省植込み型指針では、その他の植込み型医療機器の装着者は、無線 LAN 機器に対しては特別の注意は必要としないものと記載している。

⑧WiMAX方式の無線通信端末からの影響について

影響を受けた植込み型医療機器（ペースメーカ、除細動器）はなかったが、総務省植込み型指針では、特別に意識する必要はないが密着させることは避けるべき等の注意事項を定めている。

表2.2 調査結果の概要

電波発射源				植え込み型医療機器				調査年度
				ペースメーカ		除細動器		
機種/方式		帯域	出力	距離(度合)(*1)	影響あり/全体(*3)	距離(度合)(*1)	影響あり/全体(*3)	
携帯電話端末	W-CDMA	800MHz	250mW	3cm (レベル2)	4 / 50	影響なし		H17
		1.7GHz		1cm未満 (レベル2)	1 / 56	影響なし		H18
		2GHz		1cm (レベル2) (*2)	6 / 50	影響なし		H12-13
	W-CDMA(HSDPA)	1.7GHz	250mW	影響なし		影響なし		H19
	W-CDMA (HSUPA)	800MHz	250mW	2cm (レベル2)	4 / 41	影響なし		H21
		1.7GHz		影響なし		影響なし		
		2GHz		影響なし		影響なし		
	CDMA20001X/CDMA2000 1xEV-DO(Rev.0)	2GHz	150mW	1cm (レベル2)	2 / 56	影響なし		H16
	CDMA2000 1xEV-DO Rev. A	800MHz	250mW	1cm未満 (レベル2)	5 / 40	影響なし		H23
		2GHz	200mW	1cm (レベル2)	2 / 49	影響なし		H19
	3GPP Release9（ＬＴＥ）	800MHz	200mW	影響なし		影響なし		H24
		1.7GHz		影響なし		影響なし		
		2GHz		影響なし		影響なし		
	複数電波を同時発射する機器 W-CDMAと無線LAN(IEEE802.11n)	800MHz及び2.4GHz	250mW 5mW/MHz	影響なし		影響なし		H25
		800MHz及び5GHz		影響なし		影響なし		
		(1.5GHz, 1.7GHz、2GHz)と(2.4GHz, 5GHz)の組み合わせ		影響なし		影響なし		
PHS		1.9GHz	80mW	-(*5)		影響なし		H12-13
				影響なし(*4)				H7-8
携帯電話用小電力レピータ (CDMA2000 1xEV-DO) ※EV-DO Rev.Aを含む		800 MHz及び2GHz	110mW	影響なし		影響なし		H20
ワイヤレスカードシステム	近接型	13.56MHz	(*6)	8cm (レベル2) (*2)	2 / 45	影響なし		H14
	近傍型			影響なし		影響なし		
EAS	ゲート型	(*7)		280cm (レベル2) 25cm (レベル3)	797 /1728	65cm (レベル2) 42.5cm (レベル4)	59 / 360	H14-15
	フロア型			75cm (レベル1)	3 / 96	影響なし		
	天井型			影響なし		影響なし		
RFID	ゲートタイプ	(*8)	(*9)	50cm (レベル2)	89 / 480	密着 (レベル4)	4 / 100	H15
	ハンディタイプ			15cm (レベル2)	50 /1008	2cm (レベル2) 1cm (レベル4)	7 / 210	
	据置きタイプ			14cm (レベル2)	70 /9779	6cm (レベル4)	28 /2270	H16
	モジュールタイプ			密着 (レベル1)	2 /3927	影響なし		
	ハンディタイプ	950MHz		影響なし		影響なし		H18
	据置きタイプ			75cm (レベル2)	163 /2480	10cm (レベル4)	34 /1104	
	モジュールタイプ			影響なし		影響なし		
無線LAN IEEE802.11,11b/g/a	アクセスポイント（親機）	2.4GHzまたは5GHz	10mW/MHz	6cm (レベル2)	4(*10) / 384	影響なし		H15
	移動機（子機）			1cm未満 (レベル2)	4(*10) / 384	影響なし		
WiMAX方式の無線通信システム端末		2.5GHz	200mW	影響なし		影響なし		H22

※ 調査の実施においては、有識者による議論により調査方法・評価等を決定しており、電波発射源の出力や植込み型医療機器の感度等は、影響の出やすい最悪条件に設定して行っている。

※ すでにサービスを終了したものについては、記載を省略している。

(*1) 上段：電波が植込み型医療機器に影響を及ぼしたときの電波発射源からの最大距離、及び最大距離における影響の度合い。
下段：電波が植込み型医療機器に影響を及ぼしたときの最大の影響度合い、及び最大の影響度合いにおける電波発射源からの最大距離。
なお、上段及び下段の結果が同じ（つまり最大距離で最大の影響を及ぼす）場合は１行で記載している。

○影響の度合いレベル分類

レベル	影響の度合い
0	影響なし
1	動悸、めまい等の原因にはなりうるが、瞬間的な影響で済むもの
2	持続的な動悸、めまい等の原因になりうるが、その場から離れる等、患者自身の行動で原状を回復できるもの
3	そのまま放置すると患者の病状を悪化させる可能性があるもの
4	直ちに患者の病状を悪化させる可能性があるもの
5	直接患者の生命に危機をもたらす可能性があるもの

(*2) (*1)のレベル分類は平成15年度調査より導入されており、それ以前の調査での影響度合いについては、報告書の記載を現在のレベル分類に当てはめて解釈したものを記している。

(*3)

機器	
携帯電話端末,ワイヤレスカードシステム, 携帯電話用小電力レピータ, WiMAX方式の無線通信システム端末	植え込み型医療機器のページングモード別に影響あり/なしを判定。
EAS,無線LAN,RFID(H15年調査)	(電波発射源別) × (植え込み型医療機器のページングモード別) に影響あり/なしを判定。
RFID(H16年,H18年調査)	(電波発射源別) × ｛植え込み型医療機器のページングモード別,電極極性別及び試験種別)｝ に影響あり/なしを判定。

(*4) 平成7-8年の実験でダイポールでは7ｃｍの距離で影響が出ており、市販の複数の端末を用いた実機調査では、影響は確認されなかった。
(*5) 平成13年度に医療機器の進化等も踏まえて再度ダイポールでの実験を行った結果、影響の最大距離は7cmから2.5cmに低下していた。
(*6) ワイヤレスカードシステムの出力について
近接型…ISO/IEC14443準拠
近傍型…IISO/IEC15693準拠

(*7) EAS詳細情報

設置方式	動作方式		使用周波数
ゲート型	磁気方式		200Hz～14kHz
	電波方式	RF方式	1.8MHz～8.2MHz
		マイクロ波方式	2.45GHz
	磁気自鳴方式		22kHz～37.5kHz
	音響磁気方式		58kHz
	複合方式 (RF方式＋磁気自鳴方式)		8.2MHz,22kHz～37.5kHz
フロア型	電波方式	RF方式	1.8MHz～8.2MHz
	磁気自鳴方式		22kHz～37.5kHz
	音響磁気方式		58kHz
天井型	電波方式	RF方式	1.8MHz～8.2MHz
	磁気自鳴方式		22kHz～37.5kHz
	音響磁気方式		58kHz

(*8)
(*9) RFID詳細情報

機種/方式	帯域	出力
ゲートタイプ	135kHz以下 誘導式通信設備 500kHz 微弱電波 13.56MHz ARIB STD-T82	ARIB STD-T89準拠 （1W以下）
ハンディタイプ	135kHz以下 誘導式通信設備 13.56MHz ARIB STD-T82 300MHz 微弱電波 2.4GHz ARIB STD-T81	ARIB STD-T90準拠 （10mW以下）
据置きタイプ	135kHz以下 誘導式通信設備 13.56MHz ARIB STD-T82 300MHz 微弱電波 2.45GHz ARIB STD-T81/STD-T1/STD-29	ARIB STD-T89準拠 （1W以下）
モジュールタイプ	135kHz以下 誘導式通信設備 13.56MHz ARIB STD-T82 300MHz 微弱電波	ARIB STD-T90準拠 （10mW以下）

(*10) 無線ＬＡＮ機器によって影響を受けた植込み型医療機器は、１機種であったことから、厚生労働省の協力を得て、
医療機関を通じ同機種の利用者全員に対して、試験結果に基づく注意喚起が行われている。

1.4. 総務省植込み型指針の運用状況

総務省植込み型指針に記載された情報は、総務省による報道発表やホームページ、説明会等の周知広報施策により幅広く周知されており、装着者にはこれに加えて植込み型医療機器の取扱説明書や医療関係団体の周知等を通じて伝達されている。また、電波利用機器の利用者に対しては、取扱説明書等を通じた周知も行われている。

また、公共交通機関が車内での携帯電話使用に関するルールを策定する際や、電子商品監視装置（EAS 機器）及び RFID 機器の関係団体が影響防止策（ステッカー貼付等）を検討する際には、参考情報として参照・活用されている。

1.5. 第二世代携帯電話サービスの終了を踏まえた総務省植込み型指針の改正

(1)改正の概要

第二世代携帯電話サービス（PDC 方式。最大出力 800mW）は、第三世代以降（最大出力は W-CDMA 方式の 250mW。）に比較して出力が大きく、比較的長い離隔距離でも植込み型医療機器への影響が確認されていた（総務省植込み型指針での 22cm の推奨離隔距離は、第二世代携帯電話サービスの端末からの最大影響発生距離 15cm をもとに、安全率を考慮して定められていたものである。）。

この第二世代携帯電話サービスは、平成 24 年（2012 年）7 月にサービス提供を終了した。これを受けて、総務省植込み型指針の在り方の検討が行われ、生体電磁環境に関する検討会での議論、意見募集等の手続きを経て、平成 25 年（2013 年）１月、携帯電話と植込み型医療機器との推奨離隔距離を 22cm から 15cm に見直す等の改正が行われた。（これ以前の指針の経緯等は、「1.3. これまでの総務省植込み型指針の経緯、実測調査結果のまとめ」に記載のとおり。）

(2)改正の際の考え方

改正の検討に当たっては、携帯電話の出力や植込み型医療機器の感度等を影響の出やすい最悪条件に設定して行った実測調査における最大の影響距離が３cm であったこと、影響の強さも、持続的な動悸・めまい等の原因になり得るが携帯電話端末を遠ざければ正常に復する可逆的なものであったこと等から、安全率を考慮しても、離隔距離を大幅に短縮することは可能ではないかとの議論もあった。

一方、植込み型医療機器の国際規格では 15cm 離れた携帯電話からの電波に相当する電波の照射下で正常な動作を確認することが、規格適合の条件

とされており、日本国内でも、「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」（昭和 35 年法律第 145 号。平成 26 年 11 月 25 日に旧名称「薬事法」から名称変更。以下「医薬品医療機器等法」という。）により、この国際規格に適合することが製造・販売等の条件となっている。また、米国等の諸外国のガイドラインでは、携帯電話とペースメーカとの推奨離隔距離は 15cm 程度とされている。（これらの諸外国の動向の詳細については、「1.6. 植込み型医療機器の国際的規格等の動向及び日本の対応」参照。）

そのため、これらの国際規格等との調和も考慮し、国内外で一元的な離隔距離となる 15cm とすることが適当と結論付けられたものである。

なお、諸外国では、現在でも出力の大きい方式の携帯電話サービスが継続して提供されている国が多いことを勘案すれば、日本の総務省植込み型指針はこれらの国々よりも更に安全の確保について十分に考慮した指針であると考えることができる。

(3)改正後の状況

この改正を踏まえて、関西地区の鉄道事業者 25 社局は、平成 26 年（2014 年）7 月より、車内での携帯電話使用ルールを、従前の「優先座席付近では携帯電話の電源を切る」という案内から、「優先座席付近では、混雑時には携帯電話の電源を切る」という案内に変更した。

公共交通機関等での携帯電話等のルール設定については、各機関等において個別の状況等を総合考慮して定められるものであるが、その検討に際しては、最新の総務省植込み型指針が参考とされることが期待される。

1.6. 植込み型医療機器の国際的規格等の動向及び日本の対応

諸外国及び国際標準化機関における植込み型医療機器への影響に関する検討は、1990 年代から本格化している。

欧州では、1992 年、世界で初めて、植込み型医療機器の電磁両立性[101]に関する規定が、CEN[102]/CENELEC[103]による規格 EN[104]50061/A1 の中で規定された。

[101] 電磁両立性：電気・電子機器が発する電磁波がほかの機器、システムに影響を与えず、またほかの機器、システムから電磁波を受けても満足に動作する耐性。EMC（Electromagnetic Compatibility)、電磁共存性、電磁的両立性、電磁環境両立性又は電磁（環境）適合性などと呼ばれる。

[102] CEN：Comité Européen de Normalisation（仏語：欧州標準化委員会）の略称。さまざまな分野の欧州統一規格を策定する非営利組織。

[103] CENELEC：Comité Européen de Normalisation Electrotechnique（仏語：欧州電気標準化委員会）の略称。ヨーロッパにおける電気工学分野の標準規格を策定する非営利組織。

[104] EN：European Norm（欧州統一規格）の略号

この規格では、20Hz～30MHz の信号を直接ペースメーカのコネクター端子に印加して、動作に影響がないことを確認することとされている。1997 年にはEN50061/A1[105]を拡張した EN45502-1[106]規格が制定され、2000 年にはほぼ同等の内容が、ISO[107] 14708-1 として制定されている。

一方、米国では 1995 年に医療機器の業界団体である HIMA[108]（Health Industry Manufacturers Association)の Pacemaker Task Force により、携帯電話とペースメーカ等との距離を６インチ（約 15cm）以上に保つことを推奨する「HIMA Pacemaker Task Force Labeling recommendations」（※FDA[109]により同意がなされたため、「FDA and HIMA labeling guidelines」とも呼ばれる。以下、この呼称を使用する。）が作成された。同年、FDA がこのガイドラインに同意し、これを医療機器業界向けに通知している。なお、このガイドラインは、当時の米国の携帯電話方式での試験（最大出力 600mW の TDMA 方式[110]が含まれる。）において、影響を受けた携帯電話の圧倒的多数での最大影響距離から妥当性を確認されている（調査に携わった University of Oklahoma の Center for the Study of Wireless EMC から、“Wireless phones and Cardiac pacemakers: In vitro interaction study”報告が公表されている)。2000 年には、ANSI[111]/AAMI[112]によるペースメーカ規格 ANSI/AAMI PC69[113]が制定された。この規格では、450MHz～3GHz の周波数帯（携帯電話の周波数帯が含まれる。）では、人体モデル内に設置したペースメーカ等に、40mW の電波を距離 2.5cm からダイポールアンテナで照射して、正常な動作を確認することとしている。この条件の設定においては、12mW の電波の 2.5cm の距離

---

[105] EN50061/A1：CEN*[102]/CENELIC*[103]によって最初に策定された、植込み型心臓ペースメーカ*[84]に対する安全性を要求している規格。これが拡張されて EN45502-1 に至っている。

[106] EN45502-1：CEN*[102]/CENELIC*[103]が策定した、電磁両立性*[101]を含む能動的植込み型医療機器に対する安全性を要求している規格。この規格は一般的要求を記述したもので、規格の末端番号が変わると特定の能動的植込み型医療機器が対象となる。

[107] ISO：International Organization for Standardization（国際標準化機構）の略称。イソ、アイソなどと読む。電気分野を除く工業分野の国際規格を策定するための民間の非政府組織。

[108] HIMA：Health Industry Manufacturers Association（保健機器製造業者協会）の略称。現在は AdvaMed（Advanced Medical Technology Association：米国先進医療技術工業会）と改名している。米国の医療機器、診断薬、健康情報システムを製造する企業が参加する業界団体。

[109] FDA：Food and Drug Administration（アメリカ食品医薬品局）の略称。アメリカ合衆国の政府機関で、食品、医薬品、化粧品、医療機器、動物薬、玩具など、消費者が通常の生活で接する製品について、許可や取締りなどの行政を行っている。

[110] TDMA 方式：Time Division Multiple Access（時分割多元接続）の略号。第二世代携帯電話*[99]で採用されている通信方式。

[111] ANSI：American National Standards Institute（米国国家規格協会）の略称。米国内の自主的標準化及び適合性評価システムの管理・調整を行っている民間の非営利団体。

[112] AAMI：Association for the Advancement of Medical Instrumentation（米国医療器具開発協会）の略称。医療技術に関して安全使用及び安全な環境のための規格、ガイドラインを作成している機関。

[113] PC69：ANSI*[111]、AAMI*[112]のペースメーカ委員会(Pacemaker Committee)が制定した植込み型ペースメーカの EMC を規制した規格。

からの照射が、15cm の距離からの携帯電話（最大出力２W の GSM 方式[114]を含む）の電波の照射に相当することを実験により確認し、それに安全率を考慮して、約３倍値の 40mW を入力電力として設定したものである。

この米国の ANSI/AAMI PC69 は、この後、EN 45502-2-2[115]（2003）、ISO 14708-2[116]（2005）に引用されており、これ以降の国際標準規格は全て、450MHz ～3GHz の周波数帯の電波に対する電磁両立性については、試験方法だけでなく、安全率等の背景となる考え方も、これを踏襲しているものということができる。

日本では、1995 年に調査研究が開始され、「1.3. これまでの総務省植込み型指針の経緯、実測調査結果等のまとめ」において詳述のとおり、1997 年には不要電波問題対策協議会において推奨離隔距離を 22cm とする指針が公表されている。これは、日本独自の試験の結果、日本の第二世代携帯電話サービス（ＰＤＣ。最大出力 800mW）で最大 15cm の距離で影響が確認されたためである。この後、平成 17 年（2005 年）には影響防止のための総務省植込み型指針が公表され、同じく 22cm の離隔距離を推奨している。平成 25 年（2013 年）１月、第二世代携帯電話サービスが終了し、提供されている携帯電話サービスの最大出力が小さくなった（最大 250mW）ことを踏まえ、指針の在り方の検討が行われた。検討の結果、国際的基準との調和も勘案して、推奨離隔距離を 15cm とする改正が行われている。（「1.6. 植込み型医療機器の国際的規格等の動向及び日本の対応」において詳述）。

また、国際的規格の策定状況に鑑み、厚生労働省から、平成 14 年（2002 年）８月 30 日に、ペースメーカ、除細動器を含む医療機器の電磁両立性を要求する、医薬審発第 0830006 号 「医療用具の電磁両立性に関する規格適合確認の取扱について」が発出されている。当該通達では、植込み型医療機器は、適合すべき規格としてペースメーカについては EN 45502-2-1 の前規格である prEN45502-2-1、除細動器については prEN45502-2-2 を示しており適合の最終期限を平成 18 年（2006 年）３月 31 日としている。この通達に従いこれ以降に製造・出荷されたペースメーカは国際規格に適合したものであると言える。なお、平成 17 年（2005 年）には薬事法（現在の医薬品医療機器等法）第 41 条第３項の規定に基づき、「薬事法第四十一条第三項の規定により厚生労働

[114] GSM 方式：Global System for Mobile communications の略号。第二世代に属する携帯電話の方式のひとつ。日本、韓国等では使用されていないが、世界のほとんどの国・地域で使用されている。
[115] EN45502-2-2：CEN*[102]/CENELIC*[103] が策定した、電磁両立性*[101] を含む能動的植込み型医療機器に対する安全性を要求している規格。植込み型除細動器*[88] を対象としている。
[116] ISO14708-2：ISO*[107] が策定した能動的植込み型医療機器に対する安全性を要求している規格の中で、植込み型ペースメーカを対象としたもの。

大臣が定める医療機器の基準」が制定され、医療機器の電磁両立性が規定された。これは平成 20 年（2008 年）４月より薬事法（現在の医薬品医療機器等法）上の要求事項になっている。

なお、近年の動向として、2012 年には、新たな国際規格 ISO14117[117]が制定されている。本規格においては、電磁両立性試験において照射する電波の出力が ISO14708-2 より増強（40mW から 120mW）されているため、より厳しい電磁両立性性能を求めるものとされている。これは、携帯電話の小型化が進み、胸部ポケット内から等、より接近した位置からの電磁干渉 [118]が想定されるためとしている。ISO14117 と ISO14708-2 との関係は現段階では明らかにされておらず、諸外国でも、この新しい ISO14117 の電磁両立性に関する規定への適合は、法制化されていない状況である。今後、引き続き、国際的基準や関連の動向を注視していく必要がある。

以上の植込み型医療機器の電磁両立性に関する検討動向と、それと並行して進められてきた日本での検討状況を、表 2.3 に年表形式でまとめる。

なお、植込み型医療機器の携帯電話との離隔距離の推奨については、米国の、６インチ（約 15cm）の離隔距離を推奨する FDA and HIMA labeling guidelines を踏まえ、同じ距離を推奨離隔距離と設定している国が多い。

[117] ISO14117：ISO*[107] が策定した能動的植込み型医療機器全般に対する EMC を要求している規格。

[118] 電磁干渉：ほかの電気・電子機器が発する電磁波を受けた際に満足に動作できなくなる状態をいう。EMI (Electromagnetic Interference)、電磁障害、電磁妨害又は電波障害などと呼ばれる。

表 2.3　植込み型医療機器の電磁両立性に関する検討動向

	国際的な検討動向	日本での検討
1992	**【欧州】EN50061 /A1** ・ペースメーカ等の電磁両立性に関する初の規格（※EN50061（1989 年）の Amendment1）。	
1993		
1994		
1995	**【国際】Bioelectromagnetics Society（BEMS）第 16 回年次大会** ・ペースメーカに対する携帯電話の影響に関する最初の学会報告。 **【米国】FDA and HIMA labeling guidelines** ・ペースメーカと携帯電話との推奨離隔距離を 15cm 以上とする HIMA のガイドラインに FDA が同意し、業界向けに通知。	●BEMS 学会報告を受け、NTT ドコモ、ペースメーカ協議会（現：日本不整脈デバイス工業会）等を中心に、日本での調査研究開始
1996		**●「医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話等の使用に関する暫定指針」** ・郵政省・厚生省等が参加する「不要電波問題対策協議会」に先行研究も合流して制定。携帯電話とは 22cm の離隔距離を保つことを推奨。
1997	**【欧州】EN45502-1** ・EN50061 /A1 を拡張。一般的な規定だが、引き続く個別規則で詳細を規定。	**●「医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話端末等の使用に関する指針」** ・暫定指針の確定版。離隔距離は同一。
1998		
1999		
2000	**【米国】ANSI/AAMI PC69 （第 1 版）** ・ペースメーカの規格。450MHz～3GHz（携帯電話の周波数帯を含む）の周波数帯では、40mW の電波を距離 2.5cm からダイポールアンテナで照射して正常な動作を確認するこ	**●郵政省で「電波の医用機器等への影響に関する調査」を開始** （以後、毎年度実施。）

	としている。また、これは15cmの距離の携帯電話からの電波と等価であることを示している。 **【国際】ISO 14708-1** [119] ・EN45502-1（1997）と同等。	
2001		
2002		**●平成14（2002）年８月30日、厚生労働省から　医薬審発第0830006号「医療用具の電磁両立性に関する規格適合確認の取扱について」発出** ・医療機器の電磁両立性規格適合の要求。ペースメーカについてはEN 45502-2-1（後述）の前規格であるprEN45502-2-1、除細動器については同様にEN 45502-2-2（後述）の前規格であるprEN45502-2-2を例示している。適合の最終期限は平成18（2006）年３月31日。
2003	**【欧州】EN45502-2-1** ・ペースメーカの規格。EN45502-1の後継規格。適合確認方法として、16.6Hz～450MHzではコネクター端子に信号を印加する方法を規定、450MHz～3GHzではANSI/AAMI PC69の方法を引用している。	
2004		
2005	**【国際】ISO 14708-2** ・ペースメーカの規格。EN45502-2-1とほぼ同内容。	**●各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針** ・総務省が毎年度の実験結果をもとに策定。携帯電話とは22cmの離隔距離を保つことを推奨。
2006		
2007	**【米国】ANSI/AAMI PC69　（第２版）**	
2008	**【欧州】EN 45502-2-2** ・除細動器の規格。ペースメーカと	**●医療機器の電磁両立性適合の法規制化（薬事法）**

[119] IS014708-1：ISO*107が策定した能動的植込み型医療機器全般に対する安全性を要求している規格。

	同様、450MHz～3GHz の試験方法は ANSI/AAMI PC69:2000 に準拠。	
2009		
2010	**【国際】ISO 14708-6** ・除細動器の規格。EN45502-2-2 と同等。	
2011	**【国際】ISO/IEC TR 20017:2011** ・RFID インテロゲータ（送信機）電波によるペースメーカ・除細動器への電磁干渉につき日本や欧米の実験調査結果等を技術資料化.	
2012	**【国際】ISO 14117** ・ISO 14708 の各個別規格から電磁両立性関連の項目のみを抽出、増強。450MHz～3GHz の試験方法は ANSI/AAMI PC69:2000 に準拠しているが、電波の出力が 40mW から 120mW に増強されている。	
2013		**●「各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針」の改正** ・影響の比較的大きかった第二世代携帯電話サービスが 2012 年 7 月に終了したことを踏まえ、調査検討の結果、携帯電話との離隔距離を 15cm に改正。

第２章 今後の進め方について

2.1. 総務省植込み型指針に関する課題と改善策（指針の根拠等の背景情報の共有）

これまで総務省植込み型指針は、携帯電話等の電波利用機器からの電波により植込み型医療機器へ影響を与える可能性があることについて一般への認知を高め、実測調査の結果等を基にした推奨離隔距離を示すなど具体的な防止策を示すことにより、影響の防止に大きな役割を果たしてきた。一方で、今後、総務省植込み型指針を運用していく上で、いくつかの課題も指摘されているところである。

現行（第三世代以降）の携帯電話については、実測調査による植込み型医療機器への最大の影響発生距離が３cm であったのに対して、国際規格との整合性を考慮して15cmの推奨離隔距離を設定している。そのため、離隔距離は、実測調査での影響発生距離に対して、結果的に５倍以上のマージンがとられた状態となっている。このような大きなマージンは、装着者及び電波利用機器の利用者が携帯電話の電波の与えるリスク[120]を過大に評価してしまう要因になっているとの指摘がある。リスクの過大評価は、装着者に人混みへの不安やストレスの増加をもたらすだけでなく、電波利用機器利用者の過剰な反応（例えば、装着者に過大に配慮した就労条件が、かえって装着者の活躍の場を制限してしまうなど）につながるおそれがある。

また、総務省植込み型指針は科学的調査に基づき15cm の離隔距離を保つことを推奨しているが、一方、公共交通機関では一定の区域（優先席付近等）において携帯電話の電源を切るというルールが設定されていることが多い。そのため、公共交通機関内において、電源を切るというルールの遵守を求める者と、15cm の離隔距離が確保されているので影響は発生しないと主張する者との間でトラブルが発生した事例が報告されている。この場合、総務省植込み型指針の内容にかかわらず、公共交通機関におけるルールを遵守すべきであることは当然であるが、こうしたトラブルを事前に防止できるよう、指針の内容とそれを踏まえたルールの実際の運用の差違が生じないための方策を講じる必要がある。

これらの課題への対応としては、装着者、電波利用機器の利用者、公共交通機関の管理者等の関係者に対して、総務省植込み型指針の内容だけでなく根拠となった調査検討の情報を含めた情報発信を行い、その情報を共有する

---

[120] リスク：ある行動に伴って、あるいは行動しないことによって、危険に遭う可能性や損をする可能性を意味する概念。

ことで、理解の促進を図ることが重要である。そのため、今後、総務省植込み型指針の周知広報を進めるに当たっては、その根拠となっている実測調査の結果と解釈など、関連する技術情報を分かりやすい形で提供していくことが必要である。

2.2. 新たな電波利用機器への対応

電波利用の進展に伴い、新たな方式の電波利用機器が次々と開発され、世の中への普及が進んでいる。これらによる植込み型医療機器への影響の防止を図る上では、人体の近傍で電波が発射される機器や、周囲の電磁界強度を大きく変化させる機器は、影響を及ぼす可能性が比較的高いと考えられるため、優先的に対応を検討することが必要である。

近年、開発・普及が進んでいる電波利用機器としては、人体に装着して使用する電波利用機器、いわゆるウェアラブル機器[121]が挙げられる。ウェアラブル機器は、眼鏡型や腕時計型のように人体に装着するものや衣類のように着用するものなど、様々な形態のものが開発されているが、場合によっては、植込み型医療機器の装着部位に近接するものも考えられる。現時点においては、これらの機器のほとんどは Bluetooth[122]などの出力電力の小さなシステムを利用しているため、植込み型医療機器へ影響を与える可能性は低いと考えられるが、植込み型医療機器の装着者がこれらの機器を利用する際には、メーカ等に問い合わせるなど、その取扱いについて確認を行うことが望ましい。

また、電気自動車への非接触の充電などに使用されるワイヤレス電力伝送システム[123]の開発、標準化が進展している。ワイヤレス電力伝送は、大きな電力を伝送する場合には周囲に大きな電磁界を発生させることがあるため、植込み型医療機器の動作への影響を防止するために離隔距離等を確保する等の対応が必要な可能性があると考えられる。ワイヤレス電力伝送システムの実用化に当たっては、植込み型医療機器への影響に十分に注意しつつ推進することが必要である。

なお、こういった新たな電波利用機器による影響については、開発メーカ等によって実用化前に技術的な検討が行われ、必要な場合は、取扱説明書等に適切な取扱い方法が示されることが望ましい。

---

[121] ウェアラブル機器：体外に装着して携行しながら使用される機器。
[122] Bluetooth：デジタル機器用の近距離無線通信規格。
[123] ワイヤレス電力電送システム：電波によって電力を伝送するシステム。電気自動車や家電の充電等への今後の普及が見込まれている。

総務省植込み型指針による対応においては、社会に広く普及している機器を中心に、想定される植込み型医療機器への影響の大きさ、社会的影響等を考慮して、重要度の高いものから順次対応していくことが適切である。また、既に調査を行った機器についても、電波利用の進展による状況の変化（無線通信機器の規格の変更等）があったものについても、対応の要否を検討することが適切である。また、対応の検討に当たっては、根拠となる技術情報の取得が重要であるため、電波利用機器・医療機器双方の専門家の協力を得て、総務省において調査を実施した上で、有識者・専門家の意見を踏まえて検討を行うべきである。

2.3. 新たな植込み型医療機器への対応

近年、新たな植込み型医療機器の開発が世界的に進展している。総務省植込み型指針の対象であるペースメーカや除細動器についても、リードレスペースメーカ[124]や着脱型の除細動器のような新たな植込み型医療機器が開発されており、今後の普及が見込まれている。これらの機器は、その普及動向や今後の国際規格における電磁両立性に関する規定によっては、我が国における適切な取扱いに関する情報を提供するために、総務省での調査が必要になる可能性がある。そのため、新たな植込み型医療機器の開発・普及動向についても状況を注視することが必要である。

なお、ペースメーカ、除細動器以外の植込み型医療機器については、現在、調査が行われている。

2.4. 関係者に期待される役割

今後、より安全安心な電波利用を確保していくため、医療機器への影響を防止する体制を引き続き維持していくために、関係各機関等がそれぞれに期待される役割を果たすことが重要である。下記に、各関係者に期待される役割を記述する。

(1)総務省

電波利用の進展及び医療機器の開発動向等にあわせた継続的な調査を実施し、調査結果を指針に反映することにより、総務省植込み型指針を適切に管理していくこと。必要に応じて新たな実験調査等も検討すること。ま

---

124 リードレスペースメーカ：通常のペースメーカは胸部皮下に植込まれた本体と心臓に接触した電極を、静脈を経由したリード（導線）で接続するのに対し、本体を小型化して直接心臓に接触させて使用するもの。

た、総務省植込み型指針の内容の周知広報を推進するとともに、その根拠となっている技術情報を収集、整理し、一般に分りやすい形で提供すること。これらの実施に当たっては、必要に応じて関係省庁とも十分連携しながら進めること。

（2）電波利用機器の製造者、運用する事業者

総務省植込み型指針等を参考に、必要に応じて提供するサービスや販売する電波利用機器の取扱説明書、ホームページなどにおいて植込み型医療機器への影響に関する情報を記載することで、機器使用者に適切な周知を行うこと。また、機器使用者や植込み型医療機器装着者から問い合わせがあった際に適切な対応ができるよう体制を構築すること。

（3）植込み型医療機器メーカ

植込み型医療機器の取扱説明書やホームページなどにおいて、総務省植込み型指針や厚生労働省の医薬品・医療機器等安全性情報等を参考にして、電波利用機器からの影響に関する情報を記載し、医療機関、植込み型医療機器の装着者及びその関係者などに周知を行うこと。なお、もし総務省植込み型指針に記載されている情報と異なる取扱いの必要な医療機器がある場合には、当該情報を関係者に確実に伝達すること。

2.5. リスク・コミュニケーションの推進

総務省植込み型指針の運用に当たっては、適切なリスク・コミュニケーションを推進することが重要である。そのためにはまず、総務省植込み型指針の根拠を含む技術情報を幅広い層に理解しやすい形で提供することが必要である。またそれだけでなく、リスクをどのように評価し、そのリスク評価を踏まえどういったリスク管理を行っているかについても、丁寧で分かりやすい情報共有を行うべきである。

例えば以下のような取組が考えられる。

- 実測調査の結果を取りまとめた情報など、技術情報をできるだけ簡潔明瞭かつ平易な表現で整理し、それを誰でもアクセスできる形で共有する。
- 技術情報を分析した結果、植込み型医療機器の影響に対するリスクはどのように評価されるか、更に装着者の健康への影響に関するリスクはどのように評価されるか等について、正確な情報を分かりやすく説明した資料を公開する。

・　リスク評価の結果、リスクをどのように管理（総務省植込み型指針の策定や、指針を踏まえた対応の際の留意点）することが適切であるかについて、丁寧で分かりやすい情報共有を行い、より適切なリスク認知の促進を図る。

2.6. **今後の課題**

電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響については、総務省植込み型指針の情報が共有され、関係機関が適切な対応を行うことにより、影響の防止が図られてきた。そのため、今後とも各関係機関がこれまでどおりの適切な対応を継続することが重要である。さらに、技術情報の適切な開示や、リスク・コミュニケーションの推進、新たな電波利用機器への対応など、本報告書で記載した課題に対して改善策を講じていくことで、より適切な対応が可能になると考えられる。

また、総務省植込み型指針による包括的な情報の提供は引き続き重要であるが、他方で、将来的には、植込み型医療機器の装着者がより自身の個別の状況に合わせた情報を入手できるよう、電波利用機器、自らの植込み型医療機器の方式、機種、設定・使用方法等に応じた電磁両立性の情報が提供されることが理想的と考えられる。今後、関係機関において、実現に向けた検討が進められることが期待される。

なお、メーカ等の技術開発による電磁耐性の向上に関する技術や、これまで調査の積み重ねを通じて得られた測定技術等については、状況に応じて、国際標準化のための取組が進められることが望ましい。

第３章 医療機関における電波利用機器の使用について（参考情報）

医療機関における携帯電話等の使用については、本検討会の直接の検討対象ではないが、植込み型医療機器への影響を防止するための取組にも隣接する分野であり、近年、大きな変化が見られたこともあり、関連する情報として記載する。なお、両者を比較する際には、医療機関内の医療機器はペースメーカ、除細動器とは異なる国際規格が適用されること、ペースメーカ、除細動器とは異なり製造時期が古く電磁的耐性[125]の低い機器が存在する可能性がある等の相違点に留意が必要である（植込み型医療機器の耐用年数は、電池の消耗等の理由により医療機関内の医療機器と比較して短く、電磁的耐性の国際規格に対応していない旧式の機器の装着者が存在する可能性は極めて低い。）。

3.1. 背景

医療機関における携帯電話等の使用については、これまで、医療機器の電磁両立性に関する薬事法（現在は医薬品医療機器等法）に基づく規制、平成９年（1997 年）に不要電波問題対策協議会（現・電波環境協議会）から公表された指針（※植込み型医療機器についても同指針で規定されていた。）及びマナーの問題等を総合的に勘案して、各医療機関において独自にルールが定められてきた。

平成 26 年（2014 年）、上記の指針の公表以降の携帯電話等及び医用電気機器の性能向上等も勘案して、電波環境協議会において新たな指針の検討が行われ、平成 26 年（2014 年）８月 19 日に、「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」が公表された。

3.2. 電波環境協議会による指針の概要

当該指針では、十分な安全対策を行えば、医療機関内における携帯電話等の電波利用機器の活用を推進し、医療ＩＣＴの促進及び患者の生活の質（ＱＯＬ[126]）の向上を図ることが可能であるとしている。

以上の基本的な姿勢に基づき、以下のとおり具体的な考え方を示している。

・　医療従事者向けルールの設定については、携帯電話等の使用が医療業

[125] 電磁的耐性：電気・電子機器が、ほかの機器・システムが発する電磁波を受けても満足に動作する耐性。

[126] QOL：Quality of Life の略号。「生活の質」と訳される、人間らしく、満足して生活しているかを評価する概念。

務の迅速かつ最適な遂行に資するものであることから、医用電気機器への影響の防止に関する教育が十分になされることを前提として、原則として使用可能との考え方が示されている。

・　患者等向けルールの設定については、医療機器への影響・マナー等を考慮してエリアごとにルールを定めること、使用可能エリアでは医用電気機器から離隔距離（目安１ｍ）を確保すること等が示されている。

・　また、今後の医療ＩＣＴの発展が見込まれる中、より安全・安心に無線通信機器を活用可能とするため、医療機関、医用電気機器メーカ、携帯電話事業者等に対して期待される事項についても記載されている。

また、指針は新たな規制等を導入するものではなく、個々の医療機関において、指針を参照して、各機関の状況等も総合考慮しながら、携帯電話等の適切な使用ルールの設定がなされることを期待するものとされている。

なお、植込み型医療機器への影響については、総務省植込み型指針を参考にすることとされている。

3.3. **今後の課題**

電波環境協議会での検討において、今後も継続して検討がなされるべき課題として、以下の事項が報告書に記載されている。

①使用ルールの周知及び医療機関内での携帯電話等の使用マナーの啓発

策定された指針を医療機関・利用者に周知するだけでなく、携帯電話等の使用マナーの啓発も行っていくことが必要とされている。

②在宅医療環境における携帯電話等の使用に関する指針

在宅医療環境において使用される医用電気機器の多くは医療機関でも使用される医用電気機器であるため、指針の内容を在宅医療環境においても参考にすることは可能とされている。一方で在宅医療の場合は、管理環境下である医療機関とは異なる電磁干渉のリスク、医療従事者がいない状況で医用電気機器に障害が発生した際の対応など、引き続き検討すべき課題が残されているとされている。

③医療機関における電波環境の改善

指針の中では、携帯電話端末からの出力電力を抑えるために、医療機関の電波環境の改善を推奨している。今後、電磁波工学や医療機関の建築構造等の専門的見地からの詳細な検討結果の情報が提供されることが期待されている。

④医療機関における無線 LAN 環境の在り方

多くの医療機関（指針の作成過程で行われたアンケートによれば 61.6%）において電子カルテ等の医療情報の管理が無線環境で行われており、医療業務の無線 LAN に対する依存度は高まっている。従って、医療機関における無線 LAN 環境の整備には、医用電気機器やその他の電子機器との干渉防止、導入する方式の選択、限られた帯域[127]の中でのチャネル設計、来訪者が持ち込んだ無線 LAN 機器の使用にかかわる問題、セキュリティ等の課題も多い。そのため、医療機関における無線 LAN 環境の在り方について検討を行うとともに、課題に対して技術的解決策や使用周波数帯域の拡張等の解決策の提案をしていくべきとされている。

⑤今後の医用電気機器の電磁的耐性の更なる向上に向けて

検討の過程において、今後の医療 ICT の更なる普及が予想される中、引き続き医療機関における安心・安全を確保するため、医療機関側から、電磁的耐性が更に向上した医用電気機器の開発の要望が示された。こうした要望があったことも踏まえ、医用電気機器メーカでは、電磁的耐性に優れた医用電気機器の開発に向け、今後積極的に取り組むべきであるとされている。

⑥継続的な調査の実施

医療機関の ICT 化が推進される中で、医療機関では今後も無線通信技術の導入が進むと考えられ、これらの適正運用のために、携帯電話端末だけでなく、各種の無線通信技術が医用電気機器に与える影響に関して、継続的な調査を実施することが必要であるとされている。

[127] 帯域：無線通信をする上で、必要となる周波数の広がりをいう。

別 紙

生体電磁環境に関する検討会　構成員

（敬称略、五十音順）

構成員名	所属
今井田　克己	香川大学医学部腫瘍病理学教授
宇川　義一	福島県立医科大学医学部神経内科学講座教授
牛山　明	厚生労働省国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官
大久保　千代次（座長）	一般財団法人電気安全環境研究所電磁界情報センター所長
奥野　勉	独立行政法人労働安全衛生総合研究所人間工学・リスク管理研究グループ部長
鎌田　環	独立行政法人国民生活センター商品テスト部長
熊田　亜紀子	東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻准教授
佐々木　洋	金沢医科大学総合医学研究所教授
庄田　守男	東京女子医科大学循環器内科臨床教授
神保　泰彦	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
多氣　昌生（座長代理）	首都大学東京大学院理工学研究科教授
恒松　由記子	順天堂大学医学部小児科学講座特任教授
豊島　健	一般財団法人日本デバイス治療研究所理事長
名川　弘一	宮内庁皇室医務主管
西澤　真理子	東京大学農学部非常勤講師
野島　俊雄	北海道大学名誉教授
飛田　恵理子	特定非営利活動法人東京都地域婦人団体連盟生活環境理事
平田　晃正	名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻准教授
藤原　修	名古屋工業大学総合工学プロジェクト研究所　プロジェクト教授／名誉教授
宮越　順二	京都大学生存圏研究所生存圏電波応用分野特定教授
山口　直人	東京女子医科大学衛生学公衆衛生学第二講座教授
山根　香織	主婦連合会会長
渡邊　聡一	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波計測研究所電磁環境研究室研究マネージャー

以上　２３名

生体電磁環境に関する検討会
電波の生体への影響に関する中間報告書ワーキンググループ　構成員

（敬称略、五十音順）

構成員名	所属
うしやま　あきら 牛山　明 *（主査）*	厚生労働省国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官
たけばやし　とおる 武林　亨	慶應義塾大学 医学部衛生学公衆衛生学教室 教授
てらお　やすお 寺尾　安生	東京大学 医学部附属病院神経内科 講師
にしざわ　まりこ 西澤　真理子	東京大学農学部 非常勤講師
ひらた　あきまさ 平田　晃正	名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻 准教授
みやこし　じゅんじ 宮越　順二	京都大学生存圏研究所生存圏開発創成研究系 特定教授
わたなべ　そういち 渡邊　聡一	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波計測研究所電磁環境研究室 研究マネージャー

以上　７名

生体電磁環境に関する検討会
電波の医療機器等への影響に関するワーキンググループ　構成員

（敬称略、五十音順）

構成員名	所属
うしやま　あきら 牛山　明	厚生労働省国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官
しょうだ　もりお 庄田　守男	東京女子医科大学循環器内科 臨床教授
とよしま　たけし 豊島　健 *（主査）*	一般財団法人日本デバイス治療研究所 理事長
にしざわ　まりこ 西澤　真理子	東京大学農学部 非常勤講師
のじま　としお 野島　俊雄	北海道大学 名誉教授
わたなべ　そういち 渡邊　聡一	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波計測研究所電磁環境研究室 研究マネージャー

以上　６名

付録

付録１　国際機関の動向に関する資料

（１）WHO に関する資料

WHO は、電波のリスク評価のために必要な研究課題をとりまとめ、2006 年及び 2010 年に公表している。この優先課題は、世界各国における研究課題の選定において参照されており、総務省の研究課題の選定に当たっても、これを参考にしている（平成 22 年度までに開始した研究課題は 2006 年の研究アジェンダを、平成 23 年度以降に開始したものは、2010 年の研究アジェンダを参考にしている。）。

この 2006 年及び 2010 年の研究アジェンダのうち、RF 電磁界の健康影響に関する事項の抜粋を、表 1.1 及び表 1.2 にそれぞれ示す。

表 1.1　WHO　無線周波数帯の研究アジェンダ 2006（健康影響に関する部分抜粋）

WHO RF 研究アジェンダ推奨事項　（健康影響研究）		
優先順位	**内容**	**該当する総務省委託研究**
◆疫学		
高い	携帯電話ユーザーに関する大規模な長期間の前向きコホート研究（発症率及び死亡率データを含む）。	•小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査（H19～21、H22～H24）
高い	携帯電話の使用に関連する小児の脳腫瘍リスクについての大規模な多国間症例対照研究（実現可能性研究の後に実施）。	•小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査（H19～21、H22～H24）
その他	高い職業的 RF 曝露を受ける人々についての大規模研究、既存の大規模症例対照研究における RF 職業曝露データの利用や、コホート研究を含む。	
その他	子供及び若年層の携帯電話ユーザー、及び脳腫瘍以外の全ての健康上のアウトカム（認識影響や睡眠の質への影響等）についての前向きコホート研究	
その他	全ての RF 発生源からの集団曝露を特徴付けるための調査。	
◆ヒトでの研究		
高い	倫理的承認が得られれば、実験室において RF 電磁界に曝露された子供の認識及び EEG への急性影響も調査すべきである。	
その他	なし	•携帯電話の電波ばく露による症状に関する研究（H19～H20） •携帯電話端末からの電波によるヒトの眼球運動への影響（H19～H21）
◆動物での研究		
高い	RF 電磁界への未成熟の動物の曝露による、CNS の成長及び成熟、造血系及び免疫系の成長に及ぼす影響を調べる、機能的、形態学的、分子的エンドポイントを用いた研究。遺伝毒性的エンドポイントも盛り込むべきである。実験プロトコルには、出生前または出生後早期の RF 曝露を盛り込むべきである。	•２GHｚ帯電波の多世代ばく露の脳の発達及び脳機能への影響（H19～H21） •電波のラット胎児造血器への影響評価（H22～H24） •脳内免疫細胞に及ぼす電波ばく露の影響評価（H19～H21） •免疫システムの機能とその発達における電磁環境の影響に関す

		る研究影響調査（H22～H24）
その他	なし	•ミリ波、準ミリ波帯電波の眼部ばく露による影響の指針値妥当性の再評価（H19～H22） •電波ばく露による眼部の定量的調査（H23～H26） •頭部局所電波ばく露の及ぼす生体影響評価とその閾値の検索（H19～H22）
◆細胞での研究		
高い	熱ショックタンパク質(HSP)及びDNA損傷に関して最近報告されている知見についての、低レベル（2W/kg以下）あるいは変調または間欠信号を用いた、独立した再現研究。影響のSARレベル及び周波数への依存性を盛り込むべきである。	•ミリ波帯細胞用ばく露装置と物理的環境の検索（H19～H22）
その他	細胞の分化（例：骨髄での造血の際）、及び、脳の薄片／培養神経を用いた神経細胞の成長に及ぼす、RFの影響に関する研究。	•電波の細胞生物学的影響評価と機構解析（H19～H21） •免疫システムの機能とその発達における電磁環境の影響に関する研究（H22～H24）（再掲）
◆メカニズム		
	なし	
◆ドシメトリ		
高い	急速に変化している、無線通信の利用及び身体の様々な部位の曝露（特に子供及び胎児）のパターンについて、文書化するための研究が必要である。これには、複数の発生源からの多重曝露も含まれる。	•中間周波数帯の電磁界と人体との間接結合に関する数値ドシメトリ評価（H22～H24） •電波の人体への安全性に関する評価技術（H19～H21,H22～H24） •複数の電波ばく露による電波複合ばく露の生体への影響（H20～H21） •複数の電波ばく露による人体への影響調査（H22～H24）
高い	様々な年齢の子供及び妊婦のドシメトリック・モデルについての更なる研究。動物及び人のRFエネルギー吸収のドシメトリック・モデルの改善と、人の体温調節反応の適切なモデル（例：内耳、頭部、眼、胴体、胚、胎児）との組み合わせ。	•小児に対する人体全身平均SARと体内深部温度上昇の特性評価（H19～H21） •実験に基づく電磁界強度指針の妥当性評価及び確認（H19～H21） •電波の人体への安全性に関する評価技術（H19～H21,H22～H24）
その他	生物学的に関連のあるRF曝露の標的についての新たな洞察をもたらすかもしれない、マイクロ・ドシメトリ研究（例：細胞または亜細胞レベルでの）。	•免疫細胞及び神経膠細胞を対象としたマイクロ波照射影響に関する実験評価（H20～H22）

表 1.2　WHO　無線周波数帯の研究アジェンダ 2010（健康影響研究に関する部分抜粋）

WHO RF 研究アジェンダ推奨事項　（健康影響研究）		
優先順位	**内容**	**該当する総務省委託研究**
◆疫学		
高い	行動および神経学的障害、がんを含めた影響に関する小児および青年の前向きコホート調査	•国際共同症例対象研究における多様な携帯電話端末・通話形式と健康に関する調査・分析・評価（H25～H26）
高い	十分に確立された人口集団ベースがん登録を利用した脳腫瘍発生率トレンドのモニタリング研究（可能であれば、人口集団のばく露データを連結させること）	
その他	神経学的疾患の症例対照研究、ただし条件として、客観的なばく露データと交絡因子データが入手可能であり、妥当な参加率が達成される場合に限る。	
◆ヒトでの研究		
高い	さまざまな年齢の小児を対象とし RF 電磁界誘発研究の一層の推進	携帯電話からの電波の睡眠に対する影響（H20～H22）
高い	睡眠時および安静時 EEG を含む脳機能への RF の影響可能性の基礎となる神経生物 学的メカニズムを突き止めるための誘発研究	
◆動物での研究		
高い	発達と行動に対する出生後早期および胎児期の RF ばく露の影響	
高い	加齢と神経変性疾患に対する RF ばく露の影響	
その他	生殖器官に対する RF ばく露の影響	
◆細胞での研究		
その他	新技術に利用される RF 電磁界へのばく露、および環境的因子と RF 電磁界の共ばく露の後に生じる細胞の反応を検出するために最適な実験的検査法の明確化	•眼部への電波ばく露の定量的調査に関する研究（H23～H26） •超高周波の電波ばく露による影響の調査（H25～）
その他	遺伝的背景と細胞型の影響に関する研究の一層の推進：アーチファクトおよび／またはバイアスの影響を受けにくい、新たな高感度の手法を用いて、多様な細胞型に対する携帯電話の RF ばく露の影響可能性を調べること。	
◆メカニズム		
	なし	
◆ドシメトリ		
高い	新規および新興の RF 技術を対象にした RF 電磁界放射の特性、ばく露シナリオとばく露レベルの評価；確立した技術の利用が変化した場合に関しても、同様に評価すること。	•眼部への電波ばく露の定量的調査に関する研究（H23～H26）（再掲） •超高周波の電波ばく露による影響の調査（H25～）（再掲） •６GHｚ超の周波数帯における局所ばく露評価（H25～H27） •電波の人体への安全性に関する評価技術（H25～）
高い	広範な RF 発生源からの個人ばく露の定量化および一般人口集団のばく露の決定要素の明確化	•電波の人体への安全性に関する評価技術（H25～） •国際共同症例対象研究における多様な携帯電話端末・通話形式と健康に関する調査・分析・評価（H25～H26）
その他	RF 労働者の個人ばく露のモニタリング	

（２）IARC に関する資料

ここでは、2011 年 5 月 24－31 日に国際がん研究機関（IARC）で開催された、電波（RF）に関する発がん性評価会議の概要を紹介する。

この発がん性評価に参加したワーキンググループメンバーは、15 カ国 30 名である。我が国からは２名が参加した。１）工学研究グループ（４名）、２）疫学研究グループ（10 名）、３）動物研究グループ（４名）、および４）生物研究グループ（12 名）がそれぞれの研究領域のまとめを行い、全体会議で総合評価を行う形式で行われた。電磁波（非電離）の生体影響評価研究には、細胞レベル、動物レベルからヒト個体を対象として、これまで研究が行われてきている。表 1.3 に、電磁波生体影響の主な評価指標をまとめた。

表 1.3　電磁波生体影響を評価する主な研究内容

研究分類	対象	研究内容
細胞実験研究	細胞	細胞増殖、DNA 合成、染色体異常、姉妹染色分体異常、小核形成、DNA 鎖切断、遺伝子発現、シグナル伝達、イオンチャンネル、突然変異、トランスフォーメーション、細胞分化誘導、細胞周期、アポトーシス、免疫応答など
動物実験研究	実験動物（ラット、マウスなど）	発がん（リンパ腫、白血病、脳腫瘍、皮膚がん、乳腺腫瘍、肝臓がんなど）、生殖や発育（着床率、胎仔体重、奇形発生など）、行動異常、メラトニンを主とした神経内分泌、免疫機能、血液脳関門（ＢＢＢ）など
疫学研究	ヒト	発がんやがん死亡（脳腫瘍、小児および成人白血病、乳がん、メラノーマ、リンパ腫など）、生殖能力、自然流産、アルツハイマー症など
人体影響	ヒト	心理的・生理的影響（疲労、頭痛、不安感、睡眠不足、脳波、心電図、記憶力など）、メラトニンを主とした神経内分泌、免疫機能など

評価会議に参加した各研究分類のワーキンググループメンバーの結論は以下のとおりであった。

1. 疫学研究の評価：これまでの研究結果を総合すると、一部の“陽性結果”を判断材料の基礎として、ワーキンググループは、「限定的証拠(Limited evidence in humans) 」と評価した。
2. 実験動物研究の評価：これまでの研究結果を総合すると、陰性の結果が多いものの、一部の複合的発がん研究の“陽性結果”は発がん性の証拠として認められ、ワーキンググループは、「限定的証拠(Limited evidence in experimental animals」と評価した。
3. 細胞研究の評価：一部の論文で“陽性”を示す結果があるものの、ワーキンググループの総合的判断として、「発がんメカニズムについては、弱い証拠(Weak mechanistic evidence) 」として評価した。

これらを踏まえた総合評価としては、ヒトの疫学研究および実験動物の発がん研究の「限定的証拠」、細胞研究などの「メカニズムとしての弱い証拠」も考慮して、「グループ２B(Possibly carcinogenic to humans」（発がん性があるかもしれない）と決定した。

なお、この IARC の発がん性評価について、特記すべきことは、これは発がん性の定性的性質（ハザード）を評価するものであって、それを定量化(リスク)するものではないことである。この点の認識が不十分である場合には、発がん性評価が誤ったメッセージとして解釈されるおそれがあるので、注意が必要である。

（３）ICNIRP に関する資料

１） ICNIRP の概要

国際非電離放射線防護委員会（International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection:ICNIRP）は、非電離放射線について、科学的な根拠に基づく人体ばく露の許容ガイドラインを策定するために設立された組織である。その非電離放射線の人体防護ガイドラインは、WHO 等により推奨されている。

非電離放射線分野における ICNIRP は、電離放射線分野における ICRP（International Commission on Radiological Protection）と同様の性格を持っている（表 1.4）。

表 1.4 ICNIRP と ICRP の比較

	ICNIRP	ICRP
設立	１９９２年（１９７３年に IRPA で前身の組織設立）	１９５０年(１９２８年に Int. Cong. Radiology で前身の組織設立)
法的な位置づけ	ドイツ登録のＮＰＯ	英国登録のＮＰＯ
主委員会（Main Commission)	非営利組織から１４名	非営利組織から１３名（イングランドまたはウェールズから必ず１名以上を含む)
事務局	ドイツ放射線防護庁（BfS）	カナダ、オタワに専従組織
下部組織	Scientific Expert Group (SEG) と Project Group (PG)	5 Committees 影響・ばく露量・医学・応用・環境
国際組織との連携	WHO, ILO	IAEA, ILO
活動目的	利害関係にとらわれず純粋に科学的な知見に基づき、(電離または非電離)放射線の安全性に関する情報提供と助言（ガイドライン策定）を行う。	

ICNIRP の重要な特徴として､ICRP と同様に非営利の科学的組織であることと定義されている。そのために原則的には産業界からの支援は受けず、WHO や各国政府・学会からの寄付や委託により財源を確保している。ICNIRP が所掌する非電離放射線は 0Hz から 3PHz の電磁波（直流電磁界～紫外線）と可聴域を除く音波（20Hz 以下

の超低周波音と20kHz以上の超音波）を含む。ICNIRPの活動は非電離放射線に関する人体ばく露許容値を含む防護システムを勧告することである。ICNIRPは防護手法の原則を示すが、具体的な規制や行動基準は関連の国際・国内の当局に委ねられているとしている。

２） ICNIRPのリスク評価

ICNIRPではガイドラインの根拠となる健康影響を、病理的な条件や相当な苦痛や不快感としている。そのため、ICNIRPのリスク評価では、健康に悪影響を及ぼさない生体影響はガイドラインの根拠とはならない。この健康影響の定義はWHOの健康の定義「単に病気や疾病がないことだけでなく、肉体的、精神的、社会的な観点からの完全な安寧状態（well-being）であること。」とは異なるものである。

ICNIRPのリスク評価では、非電離放射線への人体ばく露量の評価（ばく露評価またはドシメトリ）、生体影響の指標の同定、研究の評価を行う。研究の評価においては、適切な研究の選択、適切な手順に基づく研究内容の評価のために、査読付き論文誌に掲載された論文の再評価を行い、科学的に信頼性の高いリスク評価を行うこととしている。

ICNIRPの人体ばく露ガイドライン設定では、以下の項目について考慮している。

・ばく露量―作用関係
・影響の性質
・最も低い閾値で現れる健康影響の考慮
・ばく露の特徴づけ
・防護対象となる集団（一般公衆には非電離放射線への耐性が低い集団（小児、老人、病人）が含まれる。）
・低減係数
・リスク管理

低減係数は、ガイドラインの根拠となる知見に含まれる不確かさを保障するために導入されるものであり、一般に不確かさが大きい場合に大きな低減係数が導入される。低減係数の決定に関する明確な規定はないが、既得的および商業的な立場からの影響を受けるべきではないとされ、科学的な問題として扱われている。ガイドラインの参考レベルの一部には、参考レベル導出のばく露評価の不確かさを考慮して、付加的な低減係数が導入されている。なお、ガイドラインへの適合性評価時の評価（測定や計算）に含まれる不確かさは低減係数には含まれていない。これらの不確かさは適合性評価のなかで考慮されるべきものである。

3）電磁界に関するICNIRPガイドライン

ICNIRPは1998年に1Hzから300GHzまでの時間的に変動する電磁界の人体ばく露量に関するガイドラインを発行している。その後、WHO による電磁界の健康リスク評価（環境保健クライテリア）に基づき、2009年に直流磁界への人体ばく露量ガイドライン、2010年に低周波電磁界（主に1Hz －100kHz）の人体ばく露量ガイドライン改定版が発行された。また、2014年に主にMRI作業者を対象とした0Hz-1Hzの磁界または直流磁界中を移動する場合の人体ばく露量のガイドラインが発行された。

100kHz以上の高周波電磁界については、引き続き1998年のガイドラインが有効である（ICNIRPは2009年に高周波電磁界のガイドラインについての声明文書を発行し､現時点では1998年ガイドラインを直ちに改定する必要がある科学的な新たな証拠は確認されていないとの認識を示している｡)。現在、この高周波電磁界については、WHO で高周波電磁界の健康リスク評価（環境保健クライテリア）の作業が進められている。その発行後には、ICNIRPガイドラインも改定されることが予定されている。

＜参考＞ICNIRP高周波ガイドライン（1998年版の高周波部分）の構成

1. まえがき
2. 目的と範囲
3. ばく露の制限の根拠
4. 電磁界と人体との直接結合メカニズム
5. 間接的結合メカニズム
6. ばく露の制限の生物学的根拠
   (ア)高周波電磁界の直接的影響
   (イ)パルス及び振幅変調された波形に関する問題
   (ウ)高周波電磁界の間接的影響
   (エ)生物学的影響と疫学的研究のまとめ
7. 電磁界ばく露制限のためのガイドライン
   (ア)職業的ばく露と公衆のばく露の制限
   (イ)基本制限および参考レベル
   (ウ)安全係数についての見解
   (エ)基本制限
   (オ)参考レベル
8. 接触電流および誘導電流の参考レベル
9. 複数の周波数の電磁界への同時ばく露
10. 防護対策
11. 参考文献
12. 付録（用語解説）

ICNIRP ガイドラインでは、電磁界ばく露制限の根拠となる健康影響の指標を用いた基本制限を策定しており、電波防護指針の基礎指針と同様に全身平均ＳＡＲ，局所ＳＡＲ、入射電力密度（10GHz 以上）で示されている。しかし、ＳＡＲを直接的に評価することは一般には困難であるため、人体に入射する電界強度・磁界強度・電力密度で示した参考レベルも策定されている。参考レベルは人体の電波吸収が最大となる一様な電磁界に人体が曝された場合にも基本制限値を超えることがないように策定されている。したがって、携帯電話使用時にアンテナ近傍の局所的に高強度の電磁界が現れているような場合には、参考レベルは過剰に厳しすぎる制限となることから、そのような場合には基本制限に基づいて評価することとしている。

また、ICNIRP ガイドラインでは接触電流・誘導電流に関する参考レベルも示されている。電波防護指針では参考レベルに相当する管理指針の電磁界強度指針の注意事項に接触電流・誘導電流の測定を要しない電磁界強度レベルが示されているが、ICNIRP ガイドラインでは相当する電磁界強度の参考レベルが示されておらず、原則的には全てのケースで接触電流・誘導電流の測定が必要となっている。

ICNIRP ガイドラインの局所 SAR 制限値は連続したひとかたまりの任意の 10g 組織の平均値（averaged over any 10-g of contiguous tissue）となっている。局所 SAR の根拠は 1998 年のガイドラインには明確に記載されていないが、1996 年に発行された声明文書において眼球での温度上昇を 1℃以下に制限することを根拠としていることが示されている。ICNIRP ガイドラインが発行された 当初は IEEE ガイドラインでは局所ＳＡＲを 1g 平均値で規定しており、両国際ガイドラインの相違が問題となったが、その後、IEEE ガイドラインの改定版では ICNIRP と同じ 10g 平均の局所ＳＡＲが規定されたため、両ガイドラインの整合性は向上している。

一方、未だ完全には整合されていないことに注意が必要である。IEEE では評価の再現性等を考慮して、10g 平均領域の形状を立方体としているのに対し、ICNIRP は任意の形状としている。さらに、IEEE ガイドラインでは耳介を四肢（extremity）と定義し、ガイドライン制限値を緩和しているのに対し、ICNIRP では耳介は頭部・体幹に含まれている。このような相違点はあるものの、全体的には、ICNIRP と IEEE の両国際ガイドラインの整合性は向上してきているといえる。

４）ICNIRP のその他の動向

2009 年に発行された ICNIRP の声明文書では、高周波電磁界に関する最新の研究動向として小児の人体ばく露量特性が取り上げられている。そこでは、総務省委託研究により開発された数値人体モデルを用いた研究等を引用し、小児の全身平均ＳＡＲが成人に比べて最大４０％程度過大となることが報告されている。しかし、こ

の程度の増加は一般公衆に考慮されている５０００％の低減係数に比べると無視できるものとの見解が示されている。

また、2011 年に IARC が高周波電磁界の発がん性を 2B と判定しているが、同年に発行された ICNIRP のレビュー論文では、IARC が根拠とした疫学研究を含むこれまでの研究結果は携帯電話の脳腫瘍発がんを否定する証拠を増強するものであると結論している。

ICNIRP は 2013 年に下部組織を改編し、それまであった四つの常置委員会（SC1：疫学、SC2：生物、SC3：物理・工学、SC4：光学）を廃止し、ICNIRP の活動に従事するために選出された Scientific Expert Group（SEG）メンバーと個別の ICNIRP のプロジェクトに従事する Project Group（PG）を設置した。PG メンバーは主委員会委員と SEG メンバーから構成される。SEG メンバーは主委員会委員と同様に、産業界以外の中立な組織に所属する専門家から、主委員会委員の投票により選出される。現在、主委員会委員には NICT の渡辺氏、SEG メンバーには JEIC の大久保氏、JNIOSH の奥野氏、名工大の平田氏、金沢医大の小島氏が選出されている。また、1996 年～2004 年には首都大の多氣氏が主委員会委員を務めている。

ICNIRP ガイドラインは我が国の電波防護指針や欧州指令・勧告等の様々な地域・国の電磁界への人体ばく露許容値に反映されている。したがって、ICNIRP 活動に我が国からの専門家が参加することは、我が国における電磁界規制との整合性確保やガイドラインの根拠を正しく認識した円滑な規制導入のためにも、非常に重要である。このため、研究者の育成や ICNIRP 活動への支援について、我が国の関係機関の積極的な支援が望まれる。

（４）IEEE/ICES に関する資料

１）IEEE/ICES の概要

電磁界安全に関わる IEEE 国際委員会（IEEE International Committee on Electromagnetic Safety、以下 IEEE/ICES と略称）は、34 技術委員会および 95 技術委員会の二つから構成されている。前者は製品の適合性評価に関する国際規格を、後者は 0Hz－300 GHz の周波数帯の電磁界生体安全性に関する国際規格を策定している. IEEE/ICES 95 技術委員会により策定された人体安全性に関する規格は ICNIRP ガイドライン同様、WHO 等により参照される国際規格である。IEEE/ICES は、26 か国約 150 名のメンバーから構成されており、ICNIRP との主な相違点として、産業界からのメンバーを含んでいる点が挙げられる. また、IEEE/ICES 95 技術委員会は、以下の 6 つの小委員会(Subcommittee、以下 SC と略称)から構成されている。

SC1 技術、手続き、計装

SC2 用語、物理単位、ハザードコミュニケーション

SC3 人体ばく露の安全レベル（0-3kHz）

SC4 人体ばく露の安全レベル（3kHz-300GHz）

SC5 点火源の安全レベル

SC6 ドシメトリのモデル化

これらの組織より、電磁界安全に関して 3 個の規格、３つの推奨方法、１つのガイドラインきが発行されている。

- IEEE Std 1460™-1996 (R2002)、準静的な磁界および電界測定の手引き
- IEEE Std C95.1 (2005) 、 3 kHz～300 GHzの無線周波電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについてのIEEE規格
- IEEE Std C95.2™-1999 (R2005)、無線周波エネルギーと電流記号に関するIEEE規格
- IEEE Std C95.3™-2002、100kHz～300GHzの電磁界への人体ばく露に関する測定および計算推奨法
- IEEE Std C95.4™-2002、雷管を用いた点火作業における送信アンテナからの安全距離の決定に関する推奨法
- IEEE Std C95.6™-2002、0 Hz～3 kHzの電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについてのIEEE規格
- IEEE Std C95.7™-2005、3 kHz～300 GHzのＲＦ安全プログラムに関するIEEE推奨法

２）IEEEのリスク評価

IEEE のリスク評価の考え方等については、例えば、IEEE C95.1 規格付録 A.1 など、

規格の付録として述べられている。

2005年に実施されたC95.1の改定では、主に文献サーベイワーキンググループにおいて選ばれた2003年12月までの査読付き原著論文あるいは新規性を有する技術報告書から2200編を対象とし、加えて2004年、2005年に発表された主なものについても検討の対象とした。対象となる論文は、工学、疫学、in vivo、in vitroに分けて考えられ、たとえば、工学に関わるWGは、すべての工学論文を再査読している。in vivoおよびin vitro研究については、ばく露装置の適切さについても検討を行っている。論文のサーベイについては継続的に行われており、年2回程度開催される会議で紹介されている。リスク評価に関するこれら一連の手続きおよび結論は、ICNIRPとほぼ同様である。

なお、ICNIRPで低減係数と呼ばれるものは、IEEEでは安全係数と呼ばれ、不確かさを保障するために導入されるものである。低周波と高周波において、生体への影響が異なるため、安全係数の考え方も異なる。

３）電磁界安全性に関するIEEE規格

IEEEの電磁界安全基準に関する規格は、3 kHzを境に異なる規格として発行されている。低周波側は、2002年に発行されたC95.6「0 Hz～3 kHzの電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについてのIEEE規格」､高周波側は､2005年に改定されたC95.1「3 kHz～300 GHz の無線周波電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについてのIEEE規格」である。前者はSC3、後者はSC4を中心に作成されている。

これらの規格もICNIRPと同様に基本制限と参考レベル（MPE : maximum permissive exposure）の２段階構成であるが、誘導電界の基本制限が、部位ごとに異なっていることが特徴である。20Hzを中心に、磁気閃光が、低周波から中間周波に関しては末梢神経系の刺激が基本制限の決定要因となっている。また、高周波においては熱効果を考え、ＳＡＲを用いている。

高周波についてのC95.1「3 kHz～300 GHzの無線周波電磁界への人体ばく露に関する安全レベルについてのIEEE規格」は以下のとおり構成されている。

1. 概観
    - 1.1. 適用範囲
    - 1.2. 目的
    - 1.3. まえがき
2. References
3. 定義、頭示語、略語、記号
    - 3.1. 定義

3.2. 頭示語

3.3. 略語

3.4. 記号

4. 推奨

4. 1. 3 kHz－5 MHz の基本制限と参考レベル

4. 2. 100 kHz－3 GHz の基本制限と参考レベル

4. 3. 3 GHz－300 GHz の基本制限

4. 4. 100 kHz－300 GHz の参考レベル

4. 5. 接触によるＲＦ火傷を守るための推奨値

4. 6. 局所曝露に対する電力密度に関する参考レベルの緩和

4. 7. 本規格との適合性評価

4. 8. ＲＦ安全性プログラム

付録 A. IEEE Std C95.1(1999 年版)改定における手順

付録 B. IEEE Std C95.1(1999 年版)改定へのアプローチ

付録 C. 根拠

付録 D.適合性評価への適用例

付録 E. 用語集

付録 F. 文献データベース

IEEE 規格では、ICNIRP ガイドラインと同様、電磁界ばく露制限の根拠となる健康影響の指標を用いた基本制限を策定しており、電波防護指針の基礎指針と同様に全身平均ＳＡＲ、局所ＳＡＲ、入射電力密度（3GHz 以上）で示されている。しかしながら、体内の物理量を直接的に評価することは一般には困難であるため、人体に入射する電界強度・磁界強度・電力密度で示した参考レベルも策定されている。また、接触電流に関する参考レベルは、総務省防護指針、ICNIRP ガイドラインとは異なり、姿勢あるいは接触の相違により詳細に細分されている。IEEE 規格では、局所ＳＡＲ制限値は複数組織の含有を許容した立方体計上 10g 組織の平均値となっている。1999 年の規格では、局所ＳＡＲの平均化質量は 1g、許容値は 1.6W/kg（一般環境）であったが、2006 年の規格ではそれぞれ 10g、2W/kg に変更した。主な要因として、近年の数値ドシメトリにより、10g の SAR と温度上昇の間にはよい相関がみられること、かつ職業環境における制限値である 10W/kg に対して眼球および脳の温度上昇がおおよそ 1 度を超えないことが示されたことによる。

４）IEEE のその他の動向

ICNIRP では、もともと一つであったガイドラインを周波数帯ごとに２つに分けたの

とは対照的に、IEEE 規格はもともと二つあった規格（C95.1、C95.6）を一つに統合するための検討を開始している。中間周波数帯におけるデータが十分ではないこと、ドシメトリ技術が発展していることから、この検討は引き続き継続されている。このような経緯のため、IEEE 95 技術委員会は 2014 年に組織を改編し、SC6 として Dosimetry Modeling を設置した。SC6 は、ドシメトリの数値モデル化に基づき、生物学的な閾値と基本制限の関係、基本制限と参考レベルの関係などを議論する周波数横断型の委員会であり、今後の改定に有用なデータを提供することを目的としている。その委員長としては、名古屋工業大学の平田氏が選出されている。

IEEE 規格は、北米や一部の南米など、いくつかの地域・国の電磁界への人体ばく露許容値に反映あるいは参考にされている。また、その起源が学会の活動であることから、定期会議では、学術的な議論も活発になされている。WHO では、国際ガイドライン／規格の調和について言及しており、我が国の安心・安全な電波利用のためには、研究動向および規格化の動向を注視することは重要である。

付録２：諸外国の規制動向に関する資料

（１）GLORE 会合について

電磁界の健康影響に関する国際コーディネート会合（GLObal Coordination of REsearch and Health Policy:GLORE）は、電磁界の生体影響に関する国際協調の推進を図ることを目的として毎年一度開催されてきた。これまでの開催状況を表 2.1 に示す。

表 2.1　GLORE の開催状況

開催年	開催日・場所		主な議題等
1997	10 月 27-28 日	東京（日本）	日韓の研究の状況のアップデート、
1998	11 月 19-20 日	ソウル（韓国）	日韓の研究の状況のアップデート、
1999	10 月 26 日	東京（日本）	日韓 EU の研究の状況のアップデート、
2001	10 月 29 日	ブリュッセル（ベルギー）	日韓 EU 米の各国の研究の状況のアップデート
2004	6 月 28-29 日	ワシントン（米国）	日韓 EU 米の各国の研究・規制の状況のアップデート、リスク・コミュニケーションの取組について
2005	11 月 7-8 日	ソウル（韓国）	各国の研究・規制の状況のアップデート、リスク・コミュニケーションの取組について
2006	11 月 14-15 日	東京（日本）	各国の研究・規制の状況のアップデート（特に研究に関する今後の情報共有の在り方等について）
2007	11 月 26-27 日	ブリュッセル（ベルギー）	各国の研究・規制の状況のアップデート（特に研究での国際協力や規制値の国際調和等について）
2008	12 月 8-9 日	シカゴ（米国）	各国の研究・規制の状況のアップデート、リスク・コミュニケーションの取組等について
2009	11 月 19-20 日	メルボルン（オーストラリア）	各国の研究・規制の状況のアップデート（特に子供の携帯電話使用や、体に密接して使用する無線機器等について）
2010	11 月 29-30 日	パリ（フランス）	各国の研究・規制の状況のアップデート（特に重要な研究分野の状況等について）
2011	11 月 21-22 日	ソウル（韓国）	各国の研究・規制の状況のアップデート、GLORE の今後等について

2012	11月 15-16日	東京（日本）	各国の研究、規制の状況のアップデート、Precautionary Principlesについての考え方等
2013	11月 14-15日	ワシントン（米国）	各国の研究、規制の状況のアップデート（特にワイヤレス電力伝送等について）
2014	11月 19-20日	ルクセンブルク（ルクセンブルク）	各国の研究、規制の状況のアップデート、各国のリスク・コミュニケーションの取組等について

（２）各国（地域）の電波防護規制のまとめ

各国（地域）の電波防護に関する規制の動向を表2.2～2.14に示す。

表2.2：各国（地域）における公衆ばく露の電波防護規制の制定経過

表2.3：各国（地域）における公衆ばく露の電波防護規制の分類

表2.4：各国（地域）における比吸収率（SAR）の制定状況

表2.5～10：各国（地域）の電波防護規制

表2.11～14：ICNIRPガイドライン電磁界ばく露の参考レベル制限値

【本資料の留意事項】

注１：本資料は、平成18（2006）年度、平成22（2010）年度、平成25（2013）年度の総務省の「平成25年度電波防護に関する国外の基準･規制動向調査」をもとに記載している。(2006)と記載があるものは2006年度、（2010）は2010年度の調査結果に基づく情報である。特に記載の無いものは、2013年度の調査に基づく。

表2.5～2.10の整理にあたっては、高周波（無線周波）領域の電波防護規制のまとめを記載し、送電線･高圧電源施設やEMC（電磁環境両立性）に関係する事項は除外した。また、欄「電波防護規制の法令･ガイドライン（制定/発効年）」には規制に関係する重要法令等を厳選し、欄「規制制定の政府機関」には政令制定機関を厳選し記載した。特に政府機関の名称は、現在の名称が制定当初の名称と異なる場合があり（改組や統合等により）現在の所管機関の名称を表示した

注２：EU の 4 つの自由化（製品・人・サービス・資本の移動の自由化）に関係する EU 指令は、原則的にEEA（European Economic Area欧州経済領域）協定の加盟国（EU加盟国の他にノルウェー、アイスランド、リヒテンシュタインが加盟）の各国内法に置換えて強制化されることになっている。スイスはEEA非加盟のためEUの法規制は受けないが、スイス連邦環境局によれば、対応の遅れはあるものの、自主的に電磁界ばく露関連のEU指令や欧州規格（EN）に適合･準拠するとしている。以下の一覧表2.5～2.10では、「（EEAで強制）」、「（規定なし）EN準拠」などと表示し、EEA協定により、R&TTE指令およびその引用のENが強制的に適用されていることを示す。

表 2.2　各国（地域）における公衆ばく露の電波防護規制の制定経過

地域	規制の根拠	根拠との関係	～1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	~2010 年	~2013 年
北米	ANSI/IEEE NCRP，他	参考	・米国 ・カナダ									・09 カナダ（政令一部修正）(2006/2010)	
欧州	ICNIRP (1998)（EU 理事会勧告 1999/519/EC）	ICNIRP 準拠	・ドイツ（電磁界政令）		・デンマーク △オランダ ・チェコ	・スペイン	・フランス △スウェーデン	・ドイツ（証明手続き政令） ・ノルウェー ・フィンランド ・ルーマニア	・英国 ・ハンガリー		▲オーストリア	・10 ノルウェー（規則改正） ・08 チェコ（政令改正）	・13 ドイツ（政令改正）
		ICNIRP 準拠+独自の係数		・スイス	・ギリシャ	・ベルギー ・イタリア（枠組法） ・クロアチア（通信省規則）		・イタリア（規制値の政令） ・クロアチア（保健省政令）		・ギリシャ（規制値を改正）		・09 ベルギー（地域管轄権下の規制） ・09 スイス（政令一部修正）	・12 イタリア（政令一部修正） ・12 ギリシャ（政令改正） ・11 クロアチア（政令改正）
	NRPB (1993)	独自設定	△英国										
	IRPA/INIRC (1988/1992)	参考	△オランダ ・フィンランド ・ルーマニア △オーストリア										
	独自研究	独自設定	※ロシア ※ブルガリア ※ハンガリー		※ハンガリー			※ロシア（規則を整理・再編） ※ポーランド					
オセアニア アジア その他	ICNIRP (1998)	ICNIRP 準拠		△ニュージーランド		△台湾 △シンガポール	・ブラジル △韓国	・オーストラリア △マレーシア △南アフリカ		▲ニュージーランド ・フィリピン		・07 タイ(2006/2010) △インド(2006/2010) ・07 韓国（法改正）(2006/2010)	
		準拠+独自の係数				・トルコ						・トルコ（政令改正）(2006/2010)	
	独自研究	独自設定	※中国										
	規制なし										タイ、インド		

(注)┈┈▶ ： 規制の変遷を示す。
・(中点)： 法的効力のある強制的規制の国を示す。
△、▲： 勧告（自主規制）。 ▲は法的文書に基準を引用、または行政指導等で基準を使用、等の可能性あり。ニュージーランドでは、自治体の都市計画規則にも適用。
ICNIRP 準拠＋独自の係数： ICNIRP ガイドラインの参考レベルに準拠し、さらに、ばく露場所により独自の係数 N を追加し（参考レベルの N 分の 1 倍の）厳しい制限値を制定。
※： ICNIRP ガイドラインより厳しい規制値を制定。ロシアとブルガリアの公衆ばく露の規制値は、30 kHz~30 GHz の周波数範囲では同一。

表 2.3　各国（地域）における公衆ばく露の電波防護規制の分類

No.	国(地域)名	ICNIRPガイドラインの参考レベル準拠		ICNIRPの参考レベル準拠＋独自の係数	独自･他基準参考	規制周波数の範囲
		法的規制	勧告(自主規制)	法的規制	法的規制	
01	米国				○	300 kHz ～ 100 GHz
02	カナダ（2010）				○	3 kHz ～ 300 GHz
03	フィンランド	○				0 Hz ～ 300 GHz
04	スウェーデン	EEA	△			〃
05	ノルウェー	○				〃
06	デンマーク	EEA	△			〃
07	オランダ	EEA	△			〃
08	ベルギー				※	ﾌﾞﾘｭｯｾﾙ首都地域とﾜﾛﾝ地域： 0.1 MHz ～300 GH ﾌﾗﾝﾄﾞﾙ地域：10 MHz ～300 GH
09	フランス	○				0 Hz ～ 300 GHz
10	英国	○				〃
11	ドイツ	○				〃
12	オーストリア	EEA	▲			〃
13	スイス			※		〃
14	イタリア			※		〃
15	ギリシャ			※		〃
16	スペイン	○				〃
17	ロシア				※	30 kHz ～ 300 GHz
18	ポーランド				※	0 Hz ～ 300 GHz
19	チェコ	○				〃
20	ハンガリー	○				〃
21	ルーマニア	○				〃
22	ブルガリア				※	30 kHz ～ 30 GHz
23	クロアチア			※		0 Hz ～ 300 GHz
24	オーストラリア(/2010)	○				3 kHz ～ 300 GHz
25	ニュージーランド（〃）		▲			〃
26	韓国（〃）	○				0 Hz ～ 300 GHz
27	中国（〃）				※	100 kHz ～ 300 GHz
28	台湾（2006）		△			0 Hz ～ 300 GHz
29	シンガポール（2006）		△			50 Hz ～ 26 GHz
30	フィリピン（2010）	○				3 kHz ～ 300 GHz
31	マレーシア（2006）		△			0 Hz ～ 300 GHz
32	タイ（2010）	○				9 kHz ～ 300 GHz
33	インド（〃）		△			0 Hz ～ 300 GHz
34	トルコ（〃）			※		10 kHz ～ 60 GHz
35	ブラジル（〃）	○				9 kHz ～ 300 GHz
36	南アフリカ（〃）		△			0 Hz ～ 300 GHz

網掛けの国(地域)：　ICNIRP ガイドラインの参考レベル準拠の国(地域)。
○、※：　法的規制。　※：　ICNIRP ガイドラインより厳しい規制。
△、▲：　勧告（自主規制）。　▲：　法的文書･行政指導等に基準の引用･使用で強制となる可能性有。
EEA：　勧告（自主規制）ではあるが、EEA 加盟国のため R&TTE 指令の EN（欧州規格）で法的規制。
※国名の末尾に(2006)と記載があるものは 2006 年の調査結果、（2010）は 2010 年の調査結果による情報である。特に記載の無いものは、2013 年の調査に基づく情報である。

表 2.4　各国（地域）における比吸収率（SAR）[1] の制定状況：(a)～(c)

(a) ICNIRP ガイドライン（1998 年）の SAR

	周波数範囲	全身平均 SAR (W/kg)	頭部・胴体の局所最大 SAR（W/kg）	四肢の局所最大 SAR（W/kg）	SAR の平均値を求める時間
			生体組織 10 g 平均	生体組織 10 g 平均	
公衆ばく露	100 kHz～10 GHz	0.08	2	4	6 分
職業ばく露	100 kHz～10 GHz	0.4	10	20	
公衆ばく露 SAR 準拠国	・欧州：EU 加盟国、ノルウェー、 スイス（自主的に準拠）、ギリシャは上表の 70%値と 60%値 ・オセアニア(2010)：オーストラリア、ニュージーランド(勧告/自主規制) ・アジア：シンガポール(勧告/自主規制)(2006)、フィリピン(2010)、 マレーシア(勧告/自主規制)(2006)、タイ(2010)、インド(2010) ・その他：ブラジル(2010)、南アフリカ(勧告/自主規制)(2010)				

（注）欧州の EEA 協定加盟国(EU 加盟国とノルウェー)は国内の SAR 規定の有無に関わらず、R&TTE 指令の EN（欧州規格）により、ICNIRP ガイドラインの SAR に強制的に準拠。
ロシア、台湾(2006)、トルコ(2010)では SAR の規定はない。

(b) IEEE 規格（IEEEStd C95.1-1991）の SAR

	周波数範囲	全身平均 SAR (W/kg)	頭部・胴体の局所最大 SAR（W/kg）	四肢の局所最大 SAR（W/kg）	SAR の平均値を求める時間
			生体組織 1 g 平均	生体組織 10 g 平均	
公衆ばく露	100 kHz～6 GHz	0.08	1.6	4	6 分 or 30 分
職業ばく露	100 kHz～6 GHz	0.4	8	20	6 分
準拠国	・北米：米国、カナダ(2010) ・アジア：韓国（公衆ばく露の 1.6 W/kg のみ）(2010)				

（注）周波数範囲は、国により上表の IEEE 規格とは異なる場合がある。改定規格 IEEE Std C95.1-2005（2006.04.19 発行）では、上記(a) ICNIRP ガイドライン（1998 年）と同じ SAR 値となったが、上記 3 ヵ国は SAR 値の改定には至っていない（2013 年度末現在）。

(c) 独自データに基づく SAR

	周波数範囲	全身平均 SAR (W/kg)	頭部・胴体の局所最大 SAR（W/kg）	四肢の局所最大 SAR (W/kg)	SAR の平均値を求める時間
公衆ばく露	100 kHz～300 GHz	0.02	—	—	6 分
職業ばく露	100 kHz～300 GHz	0.01	—	—	
準拠国	・アジア：中国(2010)				

（注）2010 年時点の調査情報に基づく。

（参考）　携帯電話端末機の製品の SAR 値一覧表のウェブサイト

市販されている携帯電話端末機の製品の SAR 値を定期的に収集し一覧表にまとめて表示・更新しているウェブサイトに下記がある。他の多くのサイトは製品のメーカサイトにリンクする方式のため、一覧表示とはなっていない。

（ドイツ連邦環境・自然保護・原子炉安全省の連邦放射線防護局 BfS のウェブサイト）
http://www.bfs.de/de/elektro/strahlenschutz_mobilfunk/schutz/vorsorge/SAR_Werte.pdf

[1] SAR (Specific Absorption Rate 比吸収率)：電磁界に生体をばく露したとき、単位質量あたりに生体組織に吸収される電力 W/kg。約 100 kHz 以上の周波数で、ばく露量測定に使われる。

表 2.5　各国（地域）の電波防護規制（1）

国（地域）名		米国	カナダ(2010)	フィンランド	スウェーデン	ノルウェー	デンマーク
規制制定の政府機関		FCC （連邦通信委員会）	連邦保健省、連邦産業省、 連邦人材開発省	社会政策･保健省 (放射線･原子力安全庁)	環境省(放射線安全庁)、 雇用省(労働環境庁)	保健省（放射線防護庁）、 運輸・通信省 （郵便・電気通信庁）	産業･発展省(産業庁)、 雇用省(労働環境庁)、 保健省(保健医薬品局)
規制の種類	公衆ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	・勧告（自主規制）(EEA で強制) ・マイクロ波乾燥規則 （法的規制）	法的規制	勧告（自主規制） （EEA で強制）
	職業ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	勧告 (ICNIRP ガイドライン適用)
規制の根拠		・NCRP ガイドライン ・SAR：ANSI/IEEE 規格	独自 IEEE, ICNIRP 等参考	EU 理事会勧告 （ICNIRP ガイドライン）	・勧告：EU 理事会勧告 （ICNIRP ガイドライン） ・職業ばく露：IRPA/INIRC	EEA（欧州経済領域）協定 EU 理事会勧告（ICNIRP）	EU 指令 1999/5/EC EU 理事会勧告（ICNIRP）
電波防護規制の 法令・ガイドライン （制定／発効年）		・連邦規則集(CFR) 47 電気通信, FCC 規則 Part1-§1.1307(b), §1.1310, Part2-§2.1091, §2.1093 (1996 年)(2013 年改定)	・ガイドライン：安全規定 6：無線周波電磁界のばく露制限(1991 年, 1999 年改定) ・周波数管理・電気通信政策文書(1995 年以降) ・労働法第 2 部 10.26(1985 年)(1996 年修正)	・放射線防護法 (592/91)： 修正 (500/2013) を含む ・非電離放射線ばく露制限の決議(1474/91)： 100 kHz～300 GHz ・一般公衆の非電離放射線ばく露制限の政令 (294/2002)	・電磁界の公衆ばく露制限の一般勧告：旧(SSI FS 2002:3) を(SSM SF 2008:18)として制定 ・マイクロ波乾燥の規則：旧(SSI FS 1995:3, 修正 2005:3) を (SSM FS 2012: 1) として制定 ・高周波電磁界（職業ばく露の規則）(AFS1987:2)	・無線機器と電気通信端末機器の EEA 要求事項の規則 (2000.6 の 628 号)：最終修正(2010.4.22 の 581 号) を含む ・放射線の防護と使用の法令 (2000.5.12 の 36 号) ・放射線の防護と使用の規則：(2010.10.29 の 1830 号)が発効、(2003.11.23 の 1362 号)は失効	・無線機器および電気通信端末機器と電磁事項の法令(2000.4.5 の 232 号)：修正 (2007.1.10 の 27 号)を含む ・無線機器および電気通信端末機器と電磁事項の政令(2001.9.10 の 791 号)
周波数範囲	公衆ばく露	300 kHz～100 GHz	3 kHz～300 GHz	0 Hz～300 GHz	0～300 GHz マイクロ波乾燥： 10 MHz～150 GHz	0 Hz～300 GHz	0 Hz～300 GHz
	職業ばく露	300 kHz～100 GHz	3 kHz～300 GHz	100 kHz～300 GHz	3 MHz～300 GHz	0 Hz～300 GHz	0～300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部･胴体の局所最大	1.6 W/kg （1 g 平均）	1.6 W/kg （1 g 平均）	2 W/kg （10 g 平均）	2 W/kg （10g 平均）	2 W/kg （10g 平均）	2 W/kg （10 g 平均）
公衆ばく露 規制値 （ ）内： 換算値	基地局 900MHz	(47.6 V/m), 600 μW/cm^2	47.6 V/m, 600 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2
	基地局 1800MHz	(61.4 V/m), 1000 μW/cm^2	61.4 V/m, 1000 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2
備考		・FCC の SAR 値の根拠である IEEE 規格は 2006 年 4 月に改定されたが､FCC の SAR 値は未改定	・安全規定 6 は勧告であるが、法的文書・規則に引用され、法的に強制化されている	—	・マイクロ波乾燥規則は、北欧特有の規制 ・旧庁の規則(SSI FS)を新庁の規則(SSM SF)として順次制定	・EEA 協定に沿う規則 628 号により、携帯電話の基地局と端末機は ICNIRP ガイドライン準拠が強制化されている	・法令と政令により、携帯電話の基地局と端末機は ICNIRP ガイドライン準拠が強制化されている

表 2.6　各国（地域）の電波防護規制 (2)

国（地域）名		オランダ	ベルギー	フランス	英国	ドイツ	オーストリア
規制制定の政府機関		社会基盤·環境省、 保健·福祉·スポーツ省、 経済省（無線通信庁）	連邦政府(公衆衛生省、経済省、労働省)、 ブリュッセル首都地域政府環境管理機関、 フランドル地域政府環境省,ワロン地域政府環境省	生産再建省、労働·雇用· 職業訓練·社会対話省 社会政策·保健省、	イングランド公衆衛生庁 （健康保護庁− 放射線防護部）	連邦環境·自然保護· 原子炉安全省、 連邦経済·エネルギー省	オーストリア規格協会
規制の種類	公衆ばく露	勧告（自主規制） (EEA で強制)	アンテナに関し 3 地域別の法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	勧告（自主規制）（法文書等に引用可能）(EEA で強制)
	職業ばく露	規定なし	規定なし	規定なし	勧告（自主規制）（行政指導に適用可能）	規定なし	勧告（自主規制）（法文書等に引用可能）
規制の根拠		EU 理事会勧告（IC NIRP ガイドライン）	EU 理事会勧告（ICNIRP ガイドライン）の 参考レベルの 50%値または 7.3%値	EU 理事会勧告 （ICNIRP ガイドライン）	EU 理事会勧告 （ICNIRP ガイドライン）	EU 理事会勧告 （ICNIRP ガイドライン）	EU 理事会勧告 （ICNIRP ガイドライン）
電波防護規制の 法令・ガイドライン （制定／発効年）		・国家アンテナ政策：4 省で策定(2000.12) ・国家アンテナ政策枠組み契約：事業者、政府·自治体連合間(2002 年) ·一般規則環境法(制定 2008; 発効 2010) ・国家アンテナ政策枠組み契約:アンテナ設置許可不要(2010 年)	・2009 年最高裁判決:電磁界ばく露防護(環境事項)は連邦政府ではなく地方政府に管轄権がある ・ブリュッセル：非電離放射線による悪影響や有害性に対する環境保護の条例(0.1 MHz -300 GHz)(2007 年) ・フランドル：電磁波送信の固定的·一時的設置アンテナに関し 1995 年政令を修正する政令(10 MHz - 10 GHz)(2010 年) ・ワロン：固定送信アンテナの非電離放射線による悪影響や有害性に対する防護の政令(0.1 MHz - 300 GHz)(2009 年)	・無線通信施設の公衆ばく露の政令(2002 年) ・携帯電話端末機の適合評価の省令(2003 年) ・携帯電話端末機のばく露制限値決定の政令(2003 年) ・無線端末機器の SAR 表示に関する政令（2010 年）	・R&TTE 規則（2000 年） ・電磁界ばく露制限の勧告(0～300 GHz) (NRPB:Vol.15-2, 2004 年) ・電磁界ばく露制限の科学的証拠の論評(0～300 GHz)(NRPB: Vol.15 -3, 2004 年) - NRPB 勧告(1993 年)は 2004 年廃止	・連邦環境汚染防止法(1974 年) ・連邦環境汚染防止法の第 26 実施政令(1996 年) 2013 年改定 ・電磁界の制限に対する証明手続きの政令 (9 kHz～30 GHz) (2002 年)(2013 年改定)	·準規格 ÖVE/ÖNORM E8850: 0～300 GHz の電界·磁界·電界−人体ばく露制限(2006 年) −ÖNORM SF1119: 0～30 kHz (1994 年)と −ÖNORM SF1120: 30 kHz ～3000 GHz (1992 年)の 2 規格は 2006 年廃止
周波数範囲	公衆ばく露	0～300 GHz	ブリュッセル: 0.1 MHz～300 GHz フランドル: 10 MHz～10 GHz ワロン: 0.1 MHz～300 GHz	0～300 GHz	0～300 GHz	0～300 GHz	0～300 GHz
	職業ばく露	規定なし	規定なし	規定なし	0～300 GHz	規定なし	0～300 GHz
公衆 ばく露 SAR	全身平均	（規定なし）EN 準拠： 0.08 W/kg	EN 準拠：0.08 W/kg, フランドル：0.001 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	（規定なし）EN 準拠： 0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部·胴体の局所最大	EN 準拠： 2 W/kg （10g 平均）	（連邦政府管轄）EN 準拠： 2 W/kg (10g 平均)	2 W/kg （10g 平均）	2 W/kg （10g 平均）	EN 準拠： 2 W/kg （10g 平均）	2 W/kg (10g 平均)
公衆 ばく露 規制値	基地局 900MHz	41 V/m, 450 μW/cm^2	ブリュッセル: 3 V/m, 2.4 μW/cm^2 フランドル(複数ア): 21 V/m, 113 μW/cm^2 フランドル(単一ア): 3 V/m, 2.4 μW/cm^2 ワロン(単一ア): 3 V/m, 2.4 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2
	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 μW/cm^2	ブリュッセル: 4.2 V/m, 4.7 μW/cm^2 フランドル(複数ア): 29 V/m, 225 μW/cm^2 フランドル(単一ア): 4.2 V/m, 4.7 μW/cm^2 ワロン(単一ア): 3 V/m, 2.4 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2
備考		・2000 年以降 ICNIRP ガイドラインを適用(EU指令 1999/5/EC に基づく)	・(複数ア)、(単一ア)は、複数アンテナの累積制限値、単一アンテナの制限値を示す ・ブリュッセル:同一ビルに 3 社のアンテナがあるとき 1 社の制限値 1.5 V/m (900 MHz) ・ワロン: 0.1 MHz - 300 GHz で一定の 3 V/m	・パリ市と携帯電話事業者が覚書を締結（2003 年）, 2006, 2010, 2013 年更新。2G/3G: 5V/m 以下 4G: 7V/m 以下	·R&TTE 規則により、携帯電話の基地局と端末機は ICNIRP ガイドライン準拠が強制されている	・携帯電話事業者の自主的義務の覚書を連邦政府と締結(2001 年), 2008 年更新, 2012 年補足。政府に研究資金を助成	・地域レベルの法的強制の電磁界ばく露の規制はないが、地域によりばく露低減策の勧告等は行われている

表 2.7　各国（地域）の電波防護規制 (3)

国（地域）名		スイス	イタリア	ギリシャ	スペイン	ロシア	ポーランド
規制制定の政府機関		連邦環境･交通･エネルギー･通信省(環境局)、連邦内務省(公衆衛生局)	環境領土海域保護省、保健省、労働･社会政策省	開発･競争力省(原子力委員会)、社会基盤･運輸･ネットワーク省、保健省、環境・エネルギー・気候変動省	保健・社会事業･平等省、産業･エネルギー･観光省	連邦保健省 ロシア放射線防護委員会	環境省、労働・社会政策省
規制の種類	公衆ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制
	職業ばく露	規定なし	法的規制	規定なし	勧告（自主規制）	法的規制	法的規制
規制の根拠		ICNIRP＋RF(無線周波)で ICNIRP 参考レベルの 10%値	EU 理事会勧告(ICNIRP ガイドライン)＋ICNIRP 参考レベルの 10%値など	EU 理事会勧告（ICNIRP ガイドライン）＋ ICNIRP 参考レベルの 70%値、60%値	EU 理事会勧告 （ICNIRP ガイドライン）	独自	独自
電波防護規制の法令・ガイドライン（制定／発効年）		･連邦環境保護法(1983 年) ･非電離放射線防護政令(2000 年)(2012 年修正)	･電界、磁界、電磁界のばく露に対する防護枠組み法(2001 年) ･100 kHz～300 GHz の電界、磁界、電磁界への国民保護のばく露限界、注意値、品質目標の制定(2003 年) ・労働安全衛生に関する統合政令(2008 年) ・国内成長のための緊急措置を導入する政令(2012 年)	・陸上の稼働アンテナから公衆を防護する措置(0～300 GHz)(Act No.1105/2000) ・全低周波電磁界を放射する稼働装置から公衆を防護する措置(Act No.512/2002) ・電子通信とその他規定(LawNo3431/2006) ・各アンテナからの電磁放射公衆ばく露の安全制限値適合のための測定方法(2008) ・電子通信･運輸･公共事業･その他の規定に関する規制(Law No.4070/2012)	・王令 1066/2001：公衆領域の電波防護、電波の放射制限、放射電波に対する健康保護対策に関する条件制定の規則 ・政令 CTE/23/2002(政令 ITC749/2010 で修正)： 無線通信事業者による正確な調査と証明書類の提出に関する条件制定の規則	衛生疫学規則と基準（SanPiN)(2003 年)： ・生産条件の電磁界 SanPiN2.2.4.1191-03 ・無線技術送信設備の配置と運転の衛生学的要求 SanPiN2.1.8/2.2.4.1383-03 ・陸上移動無線通信手段の配置と運転の衛生学的要求 SanPiN.2.1.8/2.2.4.1190-03	・経済・労働・社会政策省令(No.217/2002, pos.1833) ・環境省令(Journal of Low No.192/2003, pos.1883)
周波数範囲	公衆ばく露	0～300 GHz	0～300 GHz	陸上アンテナ：0～300 GHz 低周波装置：0～100 kHz	0～300 GHz	30 kHz～300 GHz	0～300 GHz
	職業ばく露	規定なし(傷害保険会社 SUVA は ICNIRP 準拠の規定を制定し労災に対処)	0～300 GHz	規定なし	0～300 GHz	10 kHz～300 GHz	0～300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	（規定なし） 国が自主的に EN 準拠：0.08 W/kg	（規定なし）EN 準拠：0.08 W/kg	･一般の場所（70%）： 0.056 W/kg ･学校･幼稚園･病院･高齢者施設 300m（60%）：0.048 W/kg	0.08 W/kg	規定なし	（規定なし） EN 準拠：0.08 W/kg
	頭部･胴体の局所最大	（規定なし） 国が自主的に EN 準拠：2 W/kg（10 g 平均）	（規定なし）EN 準拠 2 W/kg （10 g 平均）	･一般の場所（70%）： 1.4 W/kg ･学校･幼稚園･病院･高齢者施設（60%）：1.2 W/kg	2 W/kg （10 g 平均）	規定なし	（規定なし） EN 準拠：2 W/kg （10 g 平均）
公衆ばく露規制値 （ ）内：換算値	基地局 900MHz	4.0 V/m, （42 μW/cm^2）	・ばく露限界（絶対に超過不可上限）： 20 V/m, 100 μW/cm^2 ･注意値(4 時間以上滞在の建物内)：6 V/m, 9.5 μW/cm^2 ・品質目標（戸外の多数集合場所）：6 V/m, 9.5 μW/cm^2	･一般の場所（70%）： 35 V/m, 315 μW/cm^2 ･学校･幼稚園･病院･高齢者施設 300m（60%）：32 V/m, 270 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	（6.14 V/m）, 10 μW/cm^2 携帯電話端末機： （19.4 V/m）, 100 μW/cm^2	7 V/m, 10 μW/cm^2
	基地局 1800MHz	・6.0 V/m, （9.5 μW/cm^2） ・900 MHz と 1800 MHz の混成：5.0 V/m,（6.6 μW/cm^2）		一般の場所（70%）： 49 V/m, 629 μW/cm^2 ･学校･幼稚園･病院･高齢者施設 300 m（60%）：45 V/m, 540 μW/cm	58 V/m, 900 μW/cm^2		
備考		・一般：ICNIRP ガイドラインの参考レベルと同一 ・センシティブ使用場所(OMEN)：ICNIP 参考レベルの 10%値（長期間滞在する建物内、住居、オフィス、学校、幼稚園、公園、高齢者施設、病院ベッドルームなど）	・100 kHz 以下：ICNIRP 準拠 ・100 kHz～300 GHz：ばく露限界、注意値、品質目標の 3 レベルで規制 ・「注意値」適用場所：人々が連続 4 時間以上滞在する建物内、住宅の屋外付属施設（バルコニー、テラス、中庭。平らな屋上は除く ・「品質目標」適用場所：戸外で多人数が頻繁に参集する場所（建物、常設施設）	・全陸上アンテナに対し、一般の人々の立ち入る場所：ICNIRP 参考レベルの 70%値。学校･幼稚園･病院･高齢者施設から 300 m 以内：ICNIRP の 60%値。学校等の施設の敷地内では携帯電話基地局の設置は禁止 ･基本制限、電力密度の低減率は 70%、60%。高周波域の電界強度･磁界強度の低減率は 0.7、0.6 の平方根の 84%、77% ・低周波機器：ICNIRP ガイドラインの参考レベルと同一	・高周波域で、カスティーリャ・ラ・マンチャ、カタルーニャ、ナバーラの 3 自治州は ICNIRP より厳しい規制： 27 V/m, 900 MHz 38 V/m, 1800 MHz ・2012 年憲法裁判所判決：カスティーリャ・ラ・マンチャ州の基地局への技術改良の要求は憲法違反	・従来からの法規制を整理して 2003 年に、上記一連の「衛生疫学規則と基準」として発表	・職業ばく露の規制値は、3 区域（安全･中間、中間･危険要因、危険･危険要因）に分けてそれぞれ設定

表 2.8　各国（地域）の電波防護規制（4）

国（地域）名		チェコ	ハンガリー	ルーマニア	ブルガリア	クロアチア	オーストラリア(2010)
規制制定の政府機関		保健省	人材開発省（保健）、国家開発省(通信)	保健省、労働者･家族･社会保護省、通信･情報社会省	保健省、環境･水利省、労働･社会政策省	保健・社会福祉省、海事・運輸・社会基盤省	放射線防護・原子力安全庁、通信･メディア庁
規制の種類	公衆ばく露	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制
規制の種類	職業ばく露	法的規制	規定なし	法的規制	法的規制	法的規制	法的規制
規制の根拠		EU 理事会勧告（ICNIRP ガイドライン）	EU 理事会勧告（ICNIRP ガイドライン）	ICNIRP ガイドライン CENELEC 規格	ETSI、ACGIH 等の規格	ICNIRP ガイドライン ＋ICNIRP 参考レベルの 40%値	ICNIRP ガイドライン
電波防護規制の法令・ガイドライン（制定／発効年）		・非電離放射線防護の政府規則(480/2000) ・非電離放射線防護の政府規則(1/2008)	・0～300 GHz 電磁界公衆ばく露の保健省令(63/2004 EszCsM)(2008 年 1 部条項廃止、2011 年修正含む) ・新規無線局設置の無線許可の通信省令(6/2004)	・一般労働安全衛生規則(1996 年) ・一般労働保護規則(2002 年) ・0-300 GHz 電磁界公衆ばく露制限の規則政令(2006 年) ･電磁界リスクへの労働者ばく露の安全衛生最低要件の政令(2006 年)	・公衆ばく露規制：政令 No. 9/1991(30 kHz～30 GHz) ・職業ばく露規制：政令 No. 7/1999(0～60 kHz)、 ・国家規格： －BNS14525- 90 (60 kHz～300MHz)； －BNS 17137-90 (0.3～300 GHz)（これら 2 つの国家規格は、国立規格協会では撤回したが、政令 No. 7/1999 では引用し使用）	・非電離放射線法(1999. 10. 7) ･都市･市街地の無線基地局最大許容放射強度の規則 1835 (2001. 12. 14) ・電気通信法 (1999. 6. 30), 改定 (2003. 8. 1) ・電磁界防護政令(2003. 12. 30) 改定(NN041/2008) ・R&TTE の電磁界強度制限の規則(NN183/2004) ・電子通信法(NN073/2008) 改定(NN080/2013) ・非電離放射線法 (NN091/2010) ・電磁界防護政令(NN098/2011) ・R&TTE の電磁界強度制限の規則中止の政令(NN089/ 2011)	・無線周波界への最大ばく露レベルの放射線防護基準：3 kHz～300 GHz (2002 年) ・EMR 基準：無線通信（電磁放射－人体ばく露）基準 (2003 年) －無線通信法で強制化
周波数範囲	公衆ばく露	0～1.7 PHz (1 PHz = 10^{15} Hz)	0～300 GHz	0～300 GHz	30 kHz～30 GHz	0～300 GHz	3 kHz～300 GHz
周波数範囲	職業ばく露	0～1.7 PHz	規定なし	0～300 GHz	0～300 GHz	0～300 GHz	3 kHz～300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	（規定なし）EN 準拠：0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg
公衆ばく露 SAR	頭部･胴体の局所最大	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	（規定なし）EN 準拠 2 W/kg (10g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)
公衆ばく露規制値 ( )内：換算値	基地局 900MHz	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2	(6.14 V/m), 10 μW/cm^2	・センシティビティ増大場所：16.5 V/m, 72 μW/cm^2 ・その他の場所： 41 V/m, 450 μW/cm^2	41 V/m, 450 μW/cm^2
公衆ばく露規制値 ( )内：換算値	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2	(6.14 V/m), 10 μW/cm^2	・センシティビティ増大場所：23.3 V/m, 144 μW/cm^2 ･その他の場所： 58 V/m, 900 μW/cm^2	58 V/m, 900 μW/cm^2
備考		―	―	―	・国家規格は強制ではないが、上記規格は政令に引用され法的効力を有す	・センシティビティ増大場所(公共建物, 住宅, 学校, 幼稚園, 病院, 遊園地等)：ICNIRP 参考レベルの 40%値(電力密度は 16%値)。その他の場所：ICNIRP の参考レベと同一	･SAR 測定法の欧州規格が EN62209-1 と変更されたのに伴い、EMR 基準の改定草案が 2006 年末に公表された

表 2.9　各国（地域）の電波防護規制 (5)

国（地域）名		ニュージーランド(2010)	韓国(2010)	中国(2010)	台湾(2006)	シンガポール (2006)	フィリピン(2010)
規制制定の政府機関		保健省、環境省 ニュージーランド規格協会	情報通信部、 産業資源部、労働部	衛生部、国家環境保護局、 工業情報化部	環境保護署	保健省	保健省 （健康機器技術部）
規制の種類	公衆ばく露	勧告（自主規制） （一部自治体規則に適用）	法的規制	法的規制	勧告（自主規制）	勧告（自主規制）	法的規制
	職業ばく露	勧告（自主規制）	勧告（自主規制）	法的規制	規定なし	勧告（自主規制）	法的規制
規制の根拠		ICNIRP ガイドライン	・ICNIRP ガイドライン ・SAR：ANSI/IEEE 規格	独自データ	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン
電波防護規制の法令・ガイドライン（制定／発効年）		・基準 NZS2772.1-1999 無線周波界 Part1 最大ばく露レベル：3kHz～300GHz (1999 年) ・無線周波送信機の影響管理の国家ガイドライン(2000 年) ・資源管理（通信機器に関する国家環境基準）規則 2008(2008.9.8)	・電磁界に対するばく露の人体防護基準(2002 年) ・EMF 測定方法（〃） ・SAR 測定方法（〃） ・基準を適用する対象機器（〃） ・電波法実行規則 26 条電磁波強度時期とその方法(2007.6.27) ・電波法実行令 40 条 2 電磁波強度の報告対象無線局基準(2007.6.27)	・環境電磁波衛生標準(1988 年) ・電磁輻射防護規程(1988 年) ・超高周波作業場所衛生標準(1989 年) ・作業場所超短波輻射衛生標準(1989) ・マイクロ波及び超短波通信設備輻射安全要求(1991) ・作業場所周波数電界衛生標準(1996)	・非游離輻射環境建議値の勧告声明(2001.1.12 環署空字 3219 号公告)	・電磁界ばく露に関する安全衛生ガイドライン(2001 年)	・3 kHz～300 GHz 無線周波放射に対する放射線防護基準(2004.10.11、修正 2005.2.14)
周波数範囲	公衆ばく露	3 kHz～300 GHz	0～300 GHz	100 kHz～300 GHz	0～300 GHz	50 Hz～26 GHz	3 kHz～300 GHz
	職業ばく露	3 kHz～300 GHz	0～300 GHz	100 kHz～300 GHz	規定なし	50 Hz～26 GHz	3 kHz～300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.02 W/kg	規定なし	0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部･胴体の局所最大	2 W/kg (10 g 平均)	1.6 W/kg (1 g 平均)	規定なし	規定なし	2 W/kg (10 g 平均)	2 W/kg (10 g 平均)
公衆ばく露規制値（ ）内：換算値	基地局 900MHz	41V/m, 450 μW/cm²	41 V/m, 450 μW/cm²	12 V/m, (38 μW/cm²)	41 V/m, 450 μW/cm²	41 V/m, 450 μW/cm²	41 V/m, 450 μW/cm²
	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 μW/cm²	58 V/m, 900 μW/cm²		58 V/m, 900 μW/cm²	58 V/m, 900 μW/cm²	58 V/m, 900 μW/cm²
備考		・基準 NZS2772.1-1999 は、いくつかの自治体の都市計画の規則にも適用されている	・現行の電磁界防護基準の改定が検討されている ・電波法改正案が 2006 年に議会に提出された	・2005 年末提出の携帯電話基準草案で SAR 2W/kg を提案	・300 kHz 以上の電磁界の測定は ANSI/IEEE C95.3 -1992 に基づく	・放射線防護法(1991 年)に組込むための放射線防護（無線周波放射)規則草案を作成し、法制化を準備中	・参考レベルの測定方法は、オーストラリア測定基準 AS2772.2- 1998 を適用

表 2.10　各国（地域）の電波防護規制（6）

国（地域）名		マレーシア(2006)	タイ(2010)	インド(2010)	トルコ(2010)	ブラジル(2010)	南アフリカ(2010)
規制制定の政府機関		エネルギー・水・通信省(通信・マルチメディア委員会)、保健省	タイ国立 電気通信委員会	通信･情報技術省 電気通信庁（テレコム･エンジニアリング・センター）	運輸通信省 情報技術通信庁	電気通信庁	保健省
規制の種類	公衆ばく露	勧告（自主規制）	法的規制	勧告（自主規制）	法的規制	法的規制	勧告（自主規制）
	職業ばく露	勧告（自主規制）	法的規制	勧告（自主規制）	規定なし	法的規制	勧告（自主規制）
規制の根拠		ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン＋１装置では参考レベルの 25%値	ICNIRP ガイドライン	ICNIRP ガイドライン
電波防護規制の 法令・ガイドライン （制定／発効年）		・無線業界自主基準：携帯電話無線基地局サイトの RF（無線周波）放射に関する技術基準(2006 年)	・ガイドライン「通信機器使用の人体への安全基準について」を制定(2007.5.5)	・携帯電話事業免許発行ガイドライン(2000年) ・ICNIRP ガイドラインを採用(2008 年、2010年)	・10 kHz～60 GHz で稼動する固定電気通信機器の電磁界強度の制限値に関する決定・測定方法・監査の規則(2001.7.12) ・電気通信法(2008.11.10)	・電気通信庁決議 303 号別紙：9 kHz～300 GHz 電界・磁界・電磁界のばく露制限規則 (2002.7.2)	・ICNIRP ガイドラインを適用
周波数範囲	公衆ばく露	0～300 GHz	9 kHz～300 GHz	0～300 GHz	10 kHz～60 GHz	9 kHz～300 GHz	0～300 GHz
	職業ばく露	0～300 GHz	9 kHz～300 GHz	0～300 GHz	規定なし	9 kHz～300 GHz	0～300 GHz
公衆ばく露 SAR	全身平均	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	規定なし	0.08 W/kg	0.08 W/kg
	頭部･胴体の局所最大	2 W/kg （10 g 平均）	2 W/kg （10 g 平均）	2 W/kg （10 g 平均）	規定なし	2 W/kg （10 g 平均）	2 W/kg （10 g 平均）
公衆ばく露 規制値	基地局 900MHz	41 V/m, 450 $\mu W/cm^2$	41 V/m, 450 $\mu W/cm^2$	41 V/m, 450 $\mu W/cm^2$	41 or 10 V/m 450 or 28 $\mu W/cm^2$	41 V/m, 450 $\mu W/cm^2$	41 V/m, 450 $\mu W/cm^2$
	基地局 1800MHz	58 V/m, 900 $\mu W/cm^2$	58 V/m, 900 $\mu W/cm^2$	58 V/m, 900 $\mu W/cm^2$	58 or 14 V/m 900 or 56 $\mu W/cm^2$	58 V/m, 900 $\mu W/cm^2$	58 V/m, 900 $\mu W/cm^2$
備考		・通信・マルチメディア委員会は、通信業界の ICNIRP ガイドライン準拠の自主規制を促進するよう勧告 ・保健省は、電磁界のばく露測定を推進	・携帯電話の取扱い説明書に SAR の表記は義務付けられていない	・2006 年 7 月：携帯電話基地局の健康影響調査委員会が最初の報告	装置（基地局）数による規制： ・単一装置：ICNIRP ガイドラインの参考レベルの 25%値以下 ・複数装置：累積ばく露値が参考レベル以下	･保健省管轄下の作業グループが､ばく露制限値や疫学研究などを検討	・医療分野以外での電磁界適用管理の新規則を準備中

表 2.11　ICNIRP ガイドライン（300 GHz 迄：1998 年）電磁界公衆ばく露の参考レベル制限値（無擾乱 実効値）

※100kHz 以下の基準値は、2010 年の 1 Hz－100 kHz についてのガイドラインで改定されている（表 2.13 参照）

周波数範囲	電界強度 E（V/m）	磁界強度 H（A/m）	磁束密度 B（μT）	等価表面波電力密度 Seq（W/m^2）
※1 Hz まで	※－	※3.2×10^4	※4×10^4	－
※1～8 Hz	※10,000	※$3.2\times10^4/f^2$	※$4\times10^4/f^2$	－
※8～25 Hz	※10,000	※4,000/f	※5,000/f	－
※0.025～0.8 kHz	※250/f	※4/f	※5/f	－
※0.8～3 kHz	※250/f	※5	※6.25	－
※3～150 kHz	※87	※5	※6.25	－
0.15～1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	－
1～10 MHz	$87/f^{1/2}$	0.73/f	0.92/f	－
10～400 MHz	28	0.073	0.092	2
400～2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	f/200
2～300 GHz	61	0.16	0.20	10

・表中計算式の f は周波数範囲に記載の単位の周波数。
・100 kHz～10 GHz では、Seq、E^2、H^2、B^2、は、任意の 6 分間の平均をとる。
・10 GHz 以上では、Seq、E^2、H^2、B^2、は、$68/f^{1.05}$分間の平均をとる（f の単位は GHz）。

表 2.12　ICNIRP ガイドライン（300 GHz 迄：1998 年）電磁界職業ばく露の参考レベル制限値（無擾乱 実効値）

※100kHz 以下の基準値は、2010 年の 1 Hz－100 kHz についてのガイドラインで改定されている（表 2.14 参照）

周波数範囲	電界強度 E（V/m）	磁界強度 H（A/m）	磁束密度 B（μT）	等価表面波電力密度 Seq（W/m^2）
※1 Hz まで	※－	※1.63×10^5	※2×10^5	－
※1～8 Hz	※20,000	※$1.63\times10^5/f^2$	※$2\times10^5/f^2$	－
※8～25 Hz	※20,000	※$2\times10^4/f$	※$2.5\times10^4/f$	－
※0.025～0.82 kHz	※500/f	※20/f	※25/f	－
※0.82～65 kHz	※610	※24.4	※30.7	－
※0.065～1 MHz	※610	※1.6/f	※2.0/f	－
1～10 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	－
10～400 MHz	61	0.16	0.2	10
400～2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	f/40
2～300 GHz	137	0.36	0.45	50

・表中計算式の f は周波数範囲に記載の単位の周波数。
・100 kHz～10 GHz では、Seq、E^2、H^2、B^2、は、任意の 6 分間の平均をとる。
・10 GHz 以上では、Seq、E^2、H^2、B^2、は、$68/f^{1.05}$分間の平均をとる（f の単位は GHz）。

出典：「時間変化する電界･磁界･電磁界へのばく露制限のためのガイドライン （300 GHz まで）」
Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.
http://www.icnirp.de/PubEMF.htm

表 2.13　ICNIRP ガイドライン（1 Hz－100 kHz：2010 年）

電磁界公衆ばく露の参考レベル制限値（無擾乱 実効値）

周波数範囲	電界強度 E(kV/m)	磁界強度 H(A/m)	磁束密度 B(μT)
1 Hz～8 Hz	5	$32,000/f^2$	$40,000\ /\ f^2$
8 Hz～25 Hz	5	4,000/f	5,000 / f
25 Hz～50 Hz	5	160	200
50 Hz～400 Hz	250/ f	160	200
400 Hz～3 kHz	250/ f	64,000/f	80,000 / f
3 kHz～10 MHz	0.083	21	27

・f は Hz を単位とした周波数。
・100 kHz 超の周波数では RF（無線周波）特有の基本制限を追加して考慮する必要がある。

表 2.14　ICNIRP ガイドライン（1 Hz－100 kHz：2010 年）

電磁界職業ばく露の参考レベル制限値（無擾乱 実効値）

周波数範囲	電界強度 E(kV/m)	磁界強度 H(A/m)	磁束密度 B(μT)
1～8 Hz	20	$163,000/f^2$	$200,000\ /\ f^2$
8～25 Hz	20	20,000/f	25,000 / f
25～300 Hz	500/f	800	1,000
300 Hz～3 kHz	500/ f	240,000/f	300,000 / f
3 kHz～10 MHz	0.17	80	100

・f は Hz を単位とした周波数。
・100 kHz 超の周波数では RF（無線周波）特有の基本制限を追加して考慮する必要がある。

出典：「時間変化する電界・磁界へのばく露制限のためのガイドライン（1 Hz－100 kHz）」
Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz). Health Physics 99(6):818-836; 2010.

なお、ICNIRP は次のガイドラインも公表しているが、電波防護指針の対象周波数(10kHz~300GHz)から外れ、本報告書の直接の対象ではないため、基準値の引用は省略する。

・「静磁界へのばく露制限に関するガイドライン」Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. Health Physics 96(4):504-514; 2009.
・「0Hz-1Hz の磁界または直流磁界中を移動する場合の人体ばく露量のガイドライン」Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz (Health Phys 106(3):418-425; 2014)

付録３　国内外の研究動向に関する資料

「第３章　1. 国内外における主な研究の現状」　をまとめるにあたって参考とした国際機関及び各国専門機関による報告書並びに原著論文を以下に記す。

【国際機関及び各国専門機関による報告書】

・国際がん研究機関（IARC）
IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol.102 "Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields", 2013 年
http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol102/mono102.pdf

・欧州委員会　「新興・新規同定された健康リスクについての科学委員会（SCENIHR）」
"Opinion on Health Effects of Exposure to EMF" 2009 年
http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf
"Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields(EMF)" 2015 年
http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf

・英国健康保護庁
"AGNIR report (RCE-20): health effects from radiofrequency electromagnetic fields" , 2012 年
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/333080/RCE-20_Health_Effects_RF_Electromagnetic_fields.pdf

・スウェーデン放射線防護庁（SSM）
"2013:19 Eighth report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields", 2013 年
http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2013/SSM-Rapport-2013-19.pdf

"2014:16 Recent Research on EMF and Health Risk. Ninth report from SSM’s Scientific Council on Electromagnetic Fields", 2014
https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2014/SSM-Rapport-2014-16.pdf

【原著論文】

3.1.2. RF 電磁界の健康影響

(1)腫瘍性疾患

疫学研究

Aydin D, Feychting M, Schuz J, Andersen TV, Poulsen AH, Prochazka M, Klaeboe L, Kuehni CE, Tynes T, Roosli M. 2011. Predictors and overestimation of recalled mobile phone use among children and adolescents. Prog Biophys Mol Biol 107:356-361.

Aydin D, Feychting M, Schuz J, Roosli M, Team CS. 2012. Childhood brain tumours and use of mobile phones: comparison of a case-control study with incidence data. Environ Health 11:35.

Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Islami F, Galichet L, Straif K, Group WHOIaFROCMW. 2011. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. Lancet Oncol 12:624-626.

Benson VS, Pirie K, Schuz J, Reeves GK, Beral V, Green J, Million Women Study C. 2013. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. Int J Epidemiol 42:792-802.

Cardis E, Armstrong BK, Bowman JD, Giles GG, Hours M, Krewski D, Mcbride M, Parent ME, Sadetzki S, Woodward A, Brown J, Chetrit A, Figuerola J, Hoffmann C, Jarus-Hakak A, Montestruq L, Nadon L, Richardson L, Villegas R, Vrijheid M. 2011a. Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries. Occup Environ Med 68:631-640.

Cardis E, Varsier N, Bowman JD, Deltour I, Figuerola J, Mann S, Moissonnier M, Taki M, Vecchia P, Villegas R, Vrijheid M, Wake K, Wiart J. 2011b. Estimation of RF energy absorbed in the brain from mobile phones in the Interphone Study. Occup Environ Med 68:686-693.

Cooke R, Laing S, Swerdlow AJ. 2010. A case-control study of risk of leukaemia in relation to mobile phone use. Br J Cancer 103:1729-1735.

Czerninski R, Zini A, Sgan-Cohen HD. 2011. Risk of parotid malignant tumors in Israel (1970-2006). Epidemiology 22:130-131.

De Vocht F, Burstyn I, Cherrie JW. 2011. Time trends (1998-2007) in brain cancer incidence rates in relation to mobile phone use in England. Bioelectromagnetics 32:334-339.

De Vocht F, Hannam K, Buchan I. 2013. Environmental risk factors for cancers of the brain and nervous system: the use of ecological data to generate hypotheses. Occup Environ Med 70:349-356.

Deltour I, Auvinen A, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Sankila R, Schuz J. 2012. Mobile phone use and

incidence of glioma in the Nordic countries 1979-2008: consistency check. Epidemiology 23:301-307.

Duan Y, Zhang HZ, Bu RF. 2011. Correlation between cellular phone use and epithelial parotid gland malignancies. Int J Oral Maxillofac Surg 40:966-972.

Elliott P, Toledano MB, Bennett J, Beale L, De Hoogh K, Best N, Briggs DJ. 2010. Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. BMJ 340:c3077.

Frei P, Mohler E, Braun-Fahrlander C, Frohlich J, Neubauer G, Roosli M, Team Q. 2012. Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. Environ Int 38:29-36.

Frei P, Poulsen AH, Johansen C, Olsen JH, Steding-Jessen M, Schuz J. 2011. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. BMJ 343:d6387.

Group IS. 2010. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. Int J Epidemiol 39:675-694.

Hardell L, Carlberg M. 2013. Use of mobile and cordless phones and survival of patients with glioma. Neuroepidemiology 40:101-108.

Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K, Eriksson M. 2011. Case-control study on the use of mobile and cordless phones and the risk for malignant melanoma in the head and neck region. Pathophysiology 18:325-333.

Kaufman DW, Anderson TE, Issaragrisil S. 2009. Risk factors for leukemia in Thailand. Ann Hematol 88:1079-1088.

Larjavaara S, Schuz J, Swerdlow A, Feychting M, Johansen C, Lagorio S, Tynes T, Klaeboe L, Tonjer SR, Blettner M, Berg-Beckhoff G, Schlehofer B, Schoemaker M, Britton J, Mantyla R, Lonn S, Ahlbom A, Flodmark O, Lilja A, Martini S, Rastelli E, Vidiri A, Kahara V, Raitanen J, Heinavaara S, Auvinen A. 2011. Location of gliomas in relation to mobile telephone use: a case-case and case-specular analysis. Am J Epidemiol 174:2-11.

Lauer O, Frei P, Gosselin MC, Joseph W, Roosli M, Frohlich J. 2013. Combining near- and far-field exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: a reference case. Bioelectromagnetics 34:366-374.

Leitgeb N. 2014. Synoptic Analysis of Epidemiologic Evidence of Brain Cancer Risks from Mobile Communication. J of Electromagnetic Analysis and Applications 6:413-424.

Li CY, Liu CC, Chang YH, Chou LP, Ko MC. 2012. A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. Sci Total Environ 435-436:472-478.

Little MP, Rajaraman P, Curtis RE, Devesa SS, Inskip PD, Check DP, Linet MS. 2012. Mobile phone use and glioma risk: comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States. BMJ 344:e1147.

Persson T, Tornevik C, Larsson LE, Loven J. 2012. Output power distributions of terminals in a 3G mobile communication network. Bioelectromagnetics 33:320-325.

Poulsen AH, Stenager E, Johansen C, Bentzen J, Friis S, Schüz J. 2012. Mobile phones and multiple sclerosis–a nationwide cohort study in Denmark. PLoS One. 7: e34453.

Schoemaker MJ, Swerdlow AJ. 2009a. Risk factors for pituitary tumors: a case-control study. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 18:1492-1500.

Schoemaker MJ, Swerdlow AJ. 2009b. Risk of pituitary tumors in cellular phone users: a case-control study. Epidemiology 20:348-354.

Schuz J, Steding-Jessen M, Hansen S, Stangerup SE, Caye-Thomasen P, Johansen C. 2010. Sociodemographic factors and vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study. Neuro Oncol 12:1291-1299.

Shu X, Ahlbom A, Feychting M. 2012. Incidence trends of malignant parotid gland tumors in Swedish and nordic adults 1970 to 2009. Epidemiology 23:766-767.

Soderqvist F, Carlberg M, Zetterberg H, Hardell L. 2012. Use of wireless phones and serum beta-trace protein in randomly recruited persons aged 18-65 years: a cross-sectional study. Electromagn Biol Med 31:416-424.

Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, Bromen K, Bornfeld N, Jockel KH. 2001. The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. Epidemiology 12:7-12.

Stang A, Schmidt-Pokrzywniak A, Lash TL, Lommatzsch PK, Taubert G, Bornfeld N, Jockel KH. 2009. Mobile phone use and risk of uveal melanoma: results of the risk factors for uveal melanoma case-control study. J Natl Cancer Inst 101:120-123.

動物実験研究

Bartsch H, Kupper H, Scheurlen U, Deerberg F, Seebald E, Dietz K, Mecke D, Probst H, Stehle T, Bartsch C. 2010. Effect of chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) on survival of female Sprague-Dawley rats: modulatory effects by month of birth and possibly stage of the solar cycle. Neuro Endocrinol Lett 31:457-473.

Jin YB, Lee HJ, Seon Lee J, Pack JK, Kim N, Lee YS. 2011. One-year, simultaneous combined exposure of CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields to rats. Int J Radiat Biol 87:416-423.

Lerchl A, Klose M, Grote K, Wilhelm AFX, Spathmann O, Fiedler T, Streckert J, Hansen J, Clemens M. 2015 Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans, Biochem Biophys Res Commun doi: 10.1016/j.bbrc.2015.02.151 [Epub ahead of print].

Lee HJ, Jin YB, Lee JS, Choi SY, Kim TH, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee YS. 2011. Lymphoma development of simultaneously combined exposure to two radiofrequency signals in AKR/J mice. Bioelectromagnetics 32:485-492.

Repacholi MH, Lerchl A, Roosli M, Sienkiewicz Z, Auvinen A, Breckenkamp J, D'inzeo G, Elliott P, Frei P, Heinrich S, Lagroye I, Lahkola A, Mccormick DL, Thomas S, Vecchia P. 2012. Systematic review of wireless

phone use and brain cancer and other head tumors. Bioelectromagnetics 33:187-206.

Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, Dasenbrock C. 2010. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. Int J Radiat Biol 86:529-541.

細胞研究（遺伝毒性）

Ballardin M, Tusa I, Fontana N, Monorchio A, Pelletti C, Rogovich A, Barale R, Scarpato R. 2011. Non-thermal effects of 2.45 GHz microwaves on spindle assembly, mitotic cells and viability of Chinese hamster V-79 cells. Mutat Res 716:1-9.

Belyaev IY, Markova E, Hillert L, Malmgren LO, Persson BR. 2009. Microwaves from UMTS/GSM mobile phones induce long-lasting inhibition of 53BP1/gamma-H2AX DNA repair foci in human lymphocytes. Bioelectromagnetics 30:129-141.

Bourthoumieu S, Magnaudeix A, Terro F, Leveque P, Collin A, Yardin C. 2013. Study of p53 expression and post-transcriptional modifications after GSM-900 radiofrequency exposure of human amniotic cells. Bioelectromagnetics 34:52-60.

Bourthoumieu S, Terro F, Leveque P, Collin A, Joubert V, Yardin C. 2011. Aneuploidy studies in human cells exposed in vitro to GSM-900 MHz radiofrequency radiation using FISH. Int J Radiat Biol 87:400-408.

Campisi A, Gulino M, Acquaviva R, Bellia P, Raciti G, Grasso R, Musumeci F, Vanella A, Triglia A. 2010. Reactive oxygen species levels and DNA fragmentation on astrocytes in primary culture after acute exposure to low intensity microwave electromagnetic field. Neurosci Lett 473:52-55.

De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. 2009. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. PLoS One 4:e6446.

Franzellitti S, Valbonesi P, Ciancaglini N, Biondi C, Contin A, Bersani F, Fabbri E. 2010. Transient DNA damage induced by high-frequency electromagnetic fields (GSM 1.8 GHz) in the human trophoblast HTR-8/SVneo cell line evaluated with the alkaline comet assay. Mutat Res 683:35-42.

Gajski G, Garaj-Vrhovac V. 2009. Radioprotective effects of honeybee venom (Apis mellifera) against 915-MHz microwave radiation-induced DNA damage in wistar rat lymphocytes: in vitro study. Int J Toxicol 28:88-98.

Hansteen IL, Clausen KO, Haugan V, Svendsen M, Svendsen MV, Eriksen JG, Skiaker R, Hauger E, Lageide L, Vistnes AI, Kure EH. 2009a. Cytogenetic effects of exposure to 2.3 GHz radiofrequency radiation on human lymphocytes in vitro. Anticancer Res 29:4323-4330.

Hansteen IL, Lageide L, Clausen KO, Haugan V, Svendsen M, Eriksen JG, Skiaker R, Hauger E, Vistnes AI, Kure EH. 2009b. Cytogenetic effects of 18.0 and 16.5 GHz microwave radiation on human lymphocytes in vitro. Anticancer Res 29:2885-2892.

Koyama S, Takashima Y, Sakurai T, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. 2007. Effects of 2.45 GHz electromagnetic

fields with a wide range of SARs on bacterial and HPRT gene mutations. J Radiat Res 48:69-75.

Kumar S, Kesari KK, Behari J. 2010. Evaluation of genotoxic effects in male Wistar rats following microwave exposure. Indian J Exp Biol 48:586-592.

Luukkonen J, Hakulinen P, Maki-Paakkanen J, Juutilainen J, Naarala J. 2009. Enhancement of chemically induced reactive oxygen species production and DNA damage in human SH-SY5Y neuroblastoma cells by 872 MHz radiofrequency radiation. Mutat Res 662:54-58.

Luukkonen J, Juutilainen J, Naarala J. 2010. Combined effects of 872 MHz radiofrequency radiation and ferrous chloride on reactive oxygen species production and DNA damage in human SH-SY5Y neuroblastoma cells. Bioelectromagnetics 31:417-424.

Manti L, Braselmann H, Calabrese ML, Massa R, Pugliese M, Scampoli P, Sicignano G, Grossi G. 2008. Effects of modulated microwave radiation at cellular telephone frequency (1.95 GHz) on X-ray-induced chromosome aberrations in human lymphocytes in vitro. Radiat Res 169:575-583.

Markovà E, Malmgren LO, Belyaev IY. 2010. Microwaves from mobile phones inhibit 53BP1 focus formation in human stem cells more strongly than in differentiated cells: possible mechanistic link to cancer risk. Environ Health Perspect. 118:394-399.

Sannino A, Sarti M, Reddy SB, Prihoda TJ, Vijayalaxmi, Scarfi MR. 2009. Induction of adaptive response in human blood lymphocytes exposed to radiofrequency radiation. Radiat Res 171:735-742.

Schrader T, Kleine-Ostmann T, Munter K, Jastrow C, Schmid E. 2011. Spindle disturbances in human-hamster hybrid (A(L)) cells induced by the electrical component of the mobile communication frequency range signal. Bioelectromagnetics 32:291-301.

Schrader T, Munter K, Kleine-Ostmann T, Schmid E. 2008. Spindle disturbances in human-hamster hybrid (AL) cells induced by mobile communication frequency range signals. Bioelectromagnetics 29:626-639.

Xu S, Chen G, Chen C, Sun C, Zhang D, Murbach M, Kuster N, Zeng Q, Xu Z. 2013. Cell type-dependent induction of DNA damage by 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields does not result in significant cellular dysfunctions. PLoS One 8:e54906.

Zhijian C, Xiaoxue L, Wei Z, Yezhen L, Jianlin L, Deqiang L, Shijie C, Lifen J, Jiliang H. 2013. Studying the protein expression in human B lymphoblastoid cells exposed to 1.8-GHz (GSM) radiofrequency radiation (RFR) with protein microarray. Biochem Biophys Res Commun 433:36-39.

Zhijian C, Xiaoxue L, Yezhen L, Deqiang L, Shijie C, Lifen J, Jianlin L, Jiliang H. 2009. Influence of 1.8-GHz (GSM) radiofrequency radiation (RFR) on DNA damage and repair induced by X-rays in human leukocytes in vitro. Mutat Res 677:100-104.

Zhijian C, Xiaoxue L, Yezhen L, Shijie C, Lifen J, Jianlin L, Deqiang L, Jiliang H. 2010. Impact of 1.8-GHz radiofrequency radiation (RFR) on DNA damage and repair induced by doxorubicin in human B-cell lymphoblastoid cells. Mutat Res 695:16-21.

Zimmerman JW, Pennison MJ, Brezovich I, Yi N, Yang CT, Ramaker R, Absher D, Myers RM, Kuster N, Costa FP, Barbault A, Pasche B. 2012. Cancer cell proliferation is inhibited by specific modulation frequencies. Br J Cancer 106:307-313.

細胞研究（非遺伝的影響[細胞の複製]）

Beneduci A. 2009. Evaluation of the potential in vitro antiproliferative effects of millimeter waves at some therapeutic frequencies on RPMI 7932 human skin malignant melanoma cells. Cell Biochem Biophys 55:25-32.

Billaudel B, Taxile M, Poulletier De Gannes F, Ruffie G, Lagroye I, Veyret B. 2009a. Effects of exposure to DAMPS and GSM signals on ornithine decarboxylase (ODC) activity: II. SH-SY5Y human neuroblastoma cells. Int J Radiat Biol 85:519-522.

Billaudel B, Taxile M, Ruffie G, Veyret B, Lagroye I. 2009b. Effects of exposure to DAMPS and GSM signals on ornithine decarboxylase (ODC) activity: I. L-929 mouse fibroblasts. Int J Radiat Biol 85:510-518.

Del Vecchio G, Giuliani A, Fernandez M, Mesirca P, Bersani F, Pinto R, Ardoino L, Lovisolo GA, Giardino L, Calza L. 2009. Continuous exposure to 900MHz GSM-modulated EMF alters morphological maturation of neural cells. Neurosci Lett 455:173-177.

Hirose H, Sasaki A, Ishii N, Sekijima M, Iyama T, Nojima T, Ugawa Y. 2010. 1950 MHz IMT-2000 field does not activate microglial cells in vitro. Bioelectromagnetics 31:104-112.

Hirose H, Suhara T, Kaji N, Sakuma N, Sekijima M, Nojima T, Miyakoshi J. 2008. Mobile phone base station radiation does not affect neoplastic transformation in BALB/3T3 cells. Bioelectromagnetics 29:55-64.

Lee KY, Kim BC, Han NK, Lee YS, Kim T, Yun JH, Kim N, Pack JK, Lee JS. 2011. Effects of combined radiofrequency radiation exposure on the cell cycle and its regulatory proteins. Bioelectromagnetics 32:169-178.

Rao VS, Titushkin IA, Moros EG, Pickard WF, Thatte HS, Cho MR. 2008. Nonthermal effects of radiofrequency-field exposure on calcium dynamics in stem cell-derived neuronal cells: elucidation of calcium pathways. Radiat Res 169:319-329.

Trillo MA, Cid MA, Martinez MA, Page JE, Esteban J, Ubeda A. 2011. Cytostatic response of NB69 cells to weak pulse-modulated 2.2 GHz radar-like signals. Bioelectromagnetics 32:340-350.

Xu S, Chen G, Chen C, Sun C, Zhang D, Murbach M, Kuster N, Zeng Q, Xu Z. 2013. Cell type-dependent induction of DNA damage by 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields does not result in significant cellular dysfunctions. PLoS One 8:e54906.

Yang X-S, He G-L, Hao Y-T, Xiao Y, Chen C-H, Zhang G-B, Yu Z-P. 2012. Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields elicits an HSP-related stress response in rat hippocampus. Brain Res Bull 88:371-378.

細胞研究（非遺伝的影響[アポトーシス]）

Ballardin M, Tusa I, Fontana N, Monorchio A, Pelletti C, Rogovich A, Barale R, Scarpato R. 2011. Non-thermal effects of 2.45 GHz microwaves on spindle assembly, mitotic cells and viability of Chinese hamster V-79 cells. Mutat Res 716:1-9.

Del Vecchio G, Giuliani A, Fernandez M, Mesirca P, Bersani F, Pinto R, Ardoino L, Lovisolo GA, Giardino L, Calza L. 2009. Effect of radiofrequency electromagnetic field exposure on in vitro models of neurodegenerative disease. Bioelectromagnetics 30:564-572.

Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. 2010. Mobile phone radiation does not induce pro-apoptosis effects in human spermatozoa. Radiat Res 174:169-176.

Joubert V, Bourthoumieu S, Leveque P, Yardin C. 2008. Apoptosis is induced by radiofrequency fields through the caspase-independent mitochondrial pathway in cortical neurons. Radiat Res 169:38-45.

Liu YX, Tai JL, Li GQ, Zhang ZW, Xue JH, Liu HS, Zhu H, Cheng JD, Liu YL, Li AM, Zhang Y. 2012. Exposure to 1950-MHz TD-SCDMA electromagnetic fields affects the apoptosis of astrocytes via caspase-3-dependent pathway. PLoS One 7:e42332.

Moquet J, Ainsbury E, Bouffler S, Lloyd D. 2008. Exposure to low level GSM 935 MHZ radiofrequency fields does not induce apoptosis in proliferating or differentiated murine neuroblastoma cells. Radiat Prot Dosimetry 131:287-296.

Palumbo R, Brescia F, Capasso D, Sannino A, Sarti M, Capri M, Grassilli E, Scarfi MR. 2008. Exposure to 900 MHz radiofrequency radiation induces caspase 3 activation in proliferating human lymphocytes. Radiat Res 170:327-334.

Terro F, Magnaudeix A, Crochetet M, Martin L, Bourthoumieu S, Wilson CM, Yardin C, Leveque P. 2012. GSM-900MHz at low dose temperature-dependently downregulates alpha-synuclein in cultured cerebral cells independently of chaperone-mediated-autophagy. Toxicology 292:136-144.

細胞研究（非遺伝的影響[酵素活性または活性酸素]）

Brescia F, Sarti M, Massa R, Calabrese ML, Sannino A, Scarfi MR. 2009. Reactive oxygen species formation is not enhanced by exposure to UMTS 1950 MHz radiation and co-exposure to ferrous ions in Jurkat cells. Bioelectromagnetics 30:525-535.

Campisi A, Gulino M, Acquaviva R, Bellia P, Raciti G, Grasso R, Musumeci F, Vanella A, Triglia A. 2010. Reactive oxygen species levels and DNA fragmentation on astrocytes in primary culture after acute exposure to low intensity microwave electromagnetic field. Neurosci Lett 473:52-55.

De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. 2009. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. PLoS One 4:e6446.

Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. 2010. Mobile phone radiation does not induce pro-apoptosis effects in human spermatozoa. Radiat Res 174:169-176.

Hong MN, Kim BC, Ko YG, Lee YS, Hong SC, Kim T, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee JS. 2012. Effects of 837 and 1950 MHz radiofrequency radiation exposure alone or combined on oxidative stress in MCF10A cells. Bioelectromagnetics 33:604-611.

Luukkonen J, Hakulinen P, Maki-Paakkanen J, Juutilainen J, Naarala J. 2009. Enhancement of chemically induced reactive oxygen species production and DNA damage in human SH-SY5Y neuroblastoma cells by 872 MHz radiofrequency radiation. Mutat Res 662:54-58.

Luukkonen J, Juutilainen J, Naarala J. 2010. Combined effects of 872 MHz radiofrequency radiation and ferrous chloride on reactive oxygen species production and DNA damage in human SH-SY5Y neuroblastoma cells. Bioelectromagnetics 31:417-424.

Poulletier De Gannes F, Haro E, Hurtier A, Taxile M, Ruffie G, Billaudel B, Veyret B, Lagroye I. 2011. Effect of exposure to the edge signal on oxidative stress in brain cell models. Radiat Res 175:225-230.

Xu S, Chen G, Chen C, Sun C, Zhang D, Murbach M, Kuster N, Zeng Q, Xu Z. 2013. Cell type-dependent induction of DNA damage by 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields does not result in significant cellular dysfunctions. PLoS One 8:e54906.

Xu S, Zhou Z, Zhang L, Yu Z, Zhang W, Wang Y, Wang X, Li M, Chen Y, Chen C, He M, Zhang G, Zhong M. 2010. Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons. Brain Res 1311:189-196.

細胞研究に関する論文（非遺伝的影響[遺伝子発現]）

Cervellati F, Franceschetti G, Lunghi L, Franzellitti S, Valbonesi P, Fabbri E, Biondi C, Vesce F. 2009. Effect of high-frequency electromagnetic fields on trophoblastic connexins. Reprod Toxicol 28:59-65.

Franzellitti S, Valbonesi P, Contin A, Biondi C, Fabbri E. 2008. HSP70 expression in human trophoblast cells exposed to different 1.8 Ghz mobile phone signals. Radiat Res 170:488-497.

Gerner C, Haudek V, Schandl U, Bayer E, Gundacker N, Hutter HP, Mosgoeller W. 2010. Increased protein synthesis by cells exposed to a 1,800-MHz radio-frequency mobile phone electromagnetic field, detected by proteome profiling. Int Arch Occup Environ Health 83:691-702.

Kim HN, Han NK, Hong MN, Chi SG, Lee YS, Kim T, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee JS. 2012. Analysis of the cellular stress response in MCF10A cells exposed to combined radio frequency radiation. J Radiat Res 53:176-183.

Kim KB, Byun HO, Han NK, Ko YG, Choi HD, Kim N, Pack JK, Lee JS. 2010. Two-dimensional electrophoretic analysis of radio-frequency radiation-exposed MCF7 breast cancer cells. J Radiat Res 51:205-213.

Le Quement C, Nicolas Nicolaz C, Zhadobov M, Desmots F, Sauleau R, Aubry M, Michel D, Le Drean Y. 2011. Whole-genome expression analysis in primary human keratinocyte cell cultures exposed to 60 GHz radiation. Bioelectromagnetics.

Nicolaz CN, Zhadobov M, Desmots F, Ansart A, Sauleau R, Thouroude D, Michel D, Le Drean Y. 2009. Study of

narrow band millimeter-wave potential interactions with endoplasmic reticulum stress sensor genes. Bioelectromagnetics 30:365-373.

Nylund R, Kuster N, Leszczynski D. 2010. Analysis of proteome response to the mobile phone radiation in two types of human primary endothelial cells. Proteome Sci 8:52.

Nylund R, Tammio H, Kuster N, Leszczynski D. 2009. Proteomic analysis of the response of human endothelial cell line EA. hy926 to 1800 GSM mobile phone radiation. 2:455-462.

Roux D, Girard S, Paladian F, Bonnet P, Lallechere S, Gendraud M, Davies E, Vian A. 2011. Human keratinocytes in culture exhibit no response when exposed to short duration, low amplitude, high frequency (900 MHz) electromagnetic fields in a reverberation chamber. Bioelectromagnetics 32:302-311.

Sakurai T, Kiyokawa T, Narita E, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. 2011. Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 2.45 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. J Radiat Res 52:185-192.

Sun W, Shen X, Lu D, Fu Y, Lu D, Chiang H. 2012. A 1.8-GHz radiofrequency radiation induces EGF receptor clustering and phosphorylation in cultured human amniotic (FL) cells. Int J Radiat Biol 88:239-244.

Terro F, Magnaudeix A, Crochetet M, Martin L, Bourthoumieu S, Wilson CM, Yardin C, Leveque P. 2012. GSM-900MHz at low dose temperature-dependently downregulates alpha-synuclein in cultured cerebral cells independently of chaperone-mediated-autophagy. Toxicology 292:136-144.

Yoon SY, Kim KT, Jo SJ, Cho AR, Jeon SI, Choi HD, Kim KH, Park GS, Pack JK, Kwon OS, Park WY. 2011. Induction of hair growth by insulin-like growth factor-1 in 1,763 MHz radiofrequency-irradiated hair follicle cells. PLoS One 6:e28474.

(2) 神経系及び神経生理学的な影響

疫学研究

Divan HA, Kheifets L, Olsen J. 2011. Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants. Scand J Work Environ Health 37:341-348.

Guxens M, Van Eijsden M, Vermeulen R, Loomans E, Vrijkotte TG, Komhout H, Van Strien RT, Huss A. 2013. Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. J Epidemiol Community Health 67:432-438.

Poulsen AH, Stenager E, Johansen C, Bentzen J, Friis S, Schüz J. 2012. Mobile phones and multiple sclerosis–a nationwide cohort study in Denmark. PloS One 7:e34453.

Schuz J, Waldemar G, Olsen JH, Johansen C. 2009. Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: a Danish retrospective cohort study. PLoS One 4:e4389.

Thomas S, Heinrich S, Von Kries R, Radon K. 2010. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. Eur J Epidemiol 25:135-141.

Vrijheid M, Martinez D, Forns J, Guxens M, Julvez J, Ferrer M, Sunyer J. 2010. Prenatal exposure to cell phone use and neurodevelopment at 14 months. Epidemiology 21:259-262.

ヒトを対象とした実験研究

Croft RJ, Leung S, Mckenzie RJ, Loughran SP, Iskra S, Hamblin DL, Cooper NR. 2010. Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. Bioelectromagnetics 31:434-444.

Danker-Hopfe H, Dorn H, Bahr A, Anderer P, Sauter C. 2011. Effects of electromagnetic fields emitted by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of sleep. J Sleep Res 20:73-81.

Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel C, Sauter C. 2010. Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. Am J Hum Biol 22:613-618.

Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, Fox E. 2009. Short-term exposure to mobile phone base station signals does not affect cognitive functioning or physiological measures in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields and controls. Bioelectromagnetics 30:556-563.

Hareuveny R, Eliyahu I, Luria R, Meiran N, Margaliot M. 2011. Cognitive effects of cellular phones: a possible role of non-radiofrequency radiation factors. Bioelectromagnetics 32:585-588.

Kwon MS, Huotilainen M, Shestakova A, Kujala T, Naatanen R, Hamalainen H. 2010a. No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study. Bioelectromagnetics 31:191-199.

Kwon MS, Jaaskelainen SK, Toivo T, Hamalainen H. 2010b. No effects of mobile phone electromagnetic field on auditory brainstem response. Bioelectromagnetics 31:48-55.

Kwon MS, Kujala T, Huotilainen M, Shestakova A, Naatanen R, Hamalainen H. 2009. Preattentive auditory information processing under exposure to the 902 MHz GSM mobile phone electromagnetic field: a mismatch negativity (MMN) study. Bioelectromagnetics 30:241-248.

Leung S, Croft RJ, Mckenzie RJ, Iskra S, Silber B, Cooper NR, O'neill B, Cropley V, Diaz-Trujillo A, Hamblin D, Simpson D. 2011. Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. Clin Neurophysiol 122:2203-2216.

Lindholm H, Alanko T, Rintamaki H, Kannala S, Toivonen T, Sistonen H, Tiikkaja M, Halonen J, Makinen T, Hietanen M. 2011. Thermal effects of mobile phone RF fields on children: a provocation study. Prog Biophys Mol Biol 107:399-403.

Loughran SP, Benz DC, Schmid MR, Murbach M, Kuster N, Achermann P. 2013. No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. Clin Neurophysiol 124:1303-1308.

Loughran SP, Mckenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. 2012. Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem. Bioelectromagnetics 33:86-93.

Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson JP, Arnetz B. 2011. Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. Bioelectromagnetics 32:4-14.

Luria R, Eliyahu I, Hareuveny R, Margaliot M, Meiran N. 2009. Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: the influence of exposure side and time. Bioelectromagnetics 30:198-204.

Lustenberger C, Murbach M, Durr R, Schmid MR, Kuster N, Achermann P, Huber R. 2013. Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects sleep-dependent performance improvement. Brain Stimul 6:805-811.

Mizuno Y, Moriguchi Y, Hikage T, Terao Y, Ohnishi T, Nojima T, Ugawa Y. 2009. Effects of W-CDMA 1950 MHz EMF emitted by mobile phones on regional cerebral blood flow in humans. Bioelectromagnetics 30:536-544.

Nakatani-Enomoto S, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe S, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M, Ugawa Y. 2013. Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. Bioelectromagnetics 34:589-598.

Papageorgiou CC, Hountala CD, Maganioti AE, Kyprianou MA, Rabavilas AD, Papadimitriou GN, Capsalis CN. 2011. Effects of wi-fi signals on the p300 component of event-related potentials during an auditory hayling task. J Integr Neurosci 10:189-202.

Sauter C, Dorn H, Bahr A, Hansen ML, Peter A, Bajbouj M, Danker-Hopfe H. 2011. Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects. Bioelectromagnetics 32:179-190.

Schmid G, Bolz T, Uberbacher R, Escorihuela-Navarro A, Bahr A, Dorn H, Sauter C, Eggert T, Danker-Hopfe H. 2012a. Design and dosimetric analysis of a 385 MHz TETRA head exposure system for use in human provocation studies. Bioelectromagnetics 33:594-603.

Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, Murbach M, Bratic Grunauer A, Rusterholz T, Bersagliere A, Kuster N, Achermann P. 2012b. Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. J Sleep Res 21:50-58.

Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP. 2012c. Sleep EEG alterations: effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. J Sleep Res 21:620-629.

Soderqvist F, Carlberg M, Hansson Mild K, Hardell L. 2009a. Exposure to an 890-MHz mobile phone-like signal and serum levels of S100B and transthyretin in volunteers. Toxicol Lett 189:63-66.

Soderqvist F, Carlberg M, Hardell L. 2009b. Mobile and cordless telephones, serum transthyretin and the blood-cerebrospinal fluid barrier: a cross-sectional study. Environ Health 8:19.

Soderqvist F, Carlberg M, Zetterberg H, Hardell L. 2012. Use of wireless phones and serum beta-trace protein in randomly recruited persons aged 18-65 years: a cross-sectional study. Electromagn Biol Med 31:416-424.

Soderqvist F, Hardell L, Carlberg M, Mild KH. 2010. Radiofrequency fields, transthyretin, and Alzheimer's disease. J Alzheimers Dis 20:599-606.

Spichtig S, Scholkmann F, Chin L, Lehmann H, Wolf M. 2012. Assessment of intermittent UMTS electromagnetic field effects on blood circulation in the human auditory region using a near-infrared system. Bioelectromagnetics 33:40-54.

Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Kovacs-Balint Z, Thuroczy G, Hernadi I. 2013. No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. Bioelectromagnetics 34:31-42.

Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Buffo P, Cibelli G, Curcio G, Van Dijkman S, Melgari JM, Giambattistelli F, Rossini PM. 2010. Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. Clin Neurophysiol 121:163-171.

Vecchio F, Buffo P, Sergio S, Iacoviello D, Rossini PM, Babiloni C. 2012. Mobile phone emission modulates event-related desynchronization of alpha rhythms and cognitive-motor performance in healthy humans. Clin Neurophysiol 123:121-128.

動物実験研究（血液脳関門）

Eberhardt JL, Persson BR, Brun AE, Salford LG, Malmgren LO. 2008. Blood-brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Electromagn Biol Med 27:215-229.

D'Andrea JA, Chou CK, Johnston SA, Adair ER. 2003. Microwave Effects on the Nervous System. Bioelectromagnetics Supplement 6:S107-S147

Poulletier de Gannes F, Billaudel B, Taxile M, Haro, Ruffie´ G, Le´veˆque P, Veyreta B, Lagroye I. 2009. Effects of Head-Only Exposure of Rats to GSM-900 on Blood-Brain Barrier Permeability and Neuronal Degeneration. RADIATION RESEARCH 172, 359–367

Timo K, Hennariikka I, Pasi M, Antti J, Thomas van G, Lauri P, Risto Pitkaaho, Jukka J, Heikki T. 2007. Mobile Phone Radiation and the Developing Brain: Behavioral and Morphological Effects in Juvenile Rats. RADIATION RESEARCH 168: 471–479

Masuda H, Ushiyama A, Takahashi M, Wang J, Fujiwara O, Hikage T, Nojima T, Fujita K, Kudo M, Ohkubo C. 2009. Effects of 915 MHz electromagnetic-field radiation in TEM cell on the blood-brain barrier and neurons in the rat brain. Radiat Res 172:66-73.

Masuda H, Ushiyama A, Hirota S, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Taki M, Ohkubo C. 2007. Effects of Acute Exposure to a 1439 MHz Electromagnetic Field on the Microcirculatory Parameters in Rat Brain. in vivo 21: 555-562

Masuda H, Ushiyama A, Hirota S, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Taki M, Ohkubo C. 2007. Effects of Subchronic Exposure to a 1439 MHz Electromagnetic Field on the Microcirculatory Parameters in Rat Brain in vivo 21: 563-570

Mcquade JM, Merritt JH, Miller SA, Scholin T, Cook MC, Salazar A, Rahimi OB, Murphy MR, Mason PA. 2009. Radiofrequency-radiation exposure does not induce detectable leakage of albumin across the blood-brain barrier. Radiat Res 171:615-621.

Perrin A, Cretallaz C, Collin A, Amourette C, Yardin C. 2010. Effects of radiofrequency field on the blood-brain barrier: A systematic review from 2005 to 2009. C. R. Physique 11 : 602–612

Sirav B, Seyhan N. 2009. Blood-brain barrier disruption by continuous-wave radio frequency radiation. Electromagn Biol Med 28:215-222.

Sirav B, Seyhan N. 2011. Effects of radiofrequency radiation exposure on blood-brain barrier permeability in male and female rats. Electromagn Biol Med 30:253-260.

動物実験研究（行動）

Hao D, Yang L, Chen S, Tian Y, Wu S. 2012. 916 MHz electromagnetic field exposure affects rat behavior and hippocampal neuronal discharge. 7:1488.

Hirata A, Kojima M, Kawai H, Yamashiro Y, Watanabe S, Sasaki H, Fujiwara O. 2010. Acute dosimetry and estimation of threshold-inducing behavioral signs of thermal stress in rabbits at 2.45-GHz microwave exposure. IEEE Trans Biomed Eng 57:1234-1242.

Prochnow N, Gebing T, Ladage K, Krause-Finkeldey D, El Ouardi A, Bitz A, Streckert J, Hansen V, Dermietzel R. 2011. Electromagnetic field effect or simply stress? Effects of UMTS exposure on hippocampal longterm plasticity in the context of procedure related hormone release. PLoS One 6:e19437.

動物実験研究（神経発生）

Aldad TS, Gan G, Gao XB, Taylor HS. 2012. Fetal radiofrequency radiation exposure from 800-1900 mhz-rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in mice. Sci Rep 2:312.

Bas O, Odaci E, Kaplan S, Acer N, Ucok K, Colakoglu S. 2009a. 900 MHz electromagnetic field exposure affects qualitative and quantitative features of hippocampal pyramidal cells in the adult female rat. Brain Res 1265:178-185.

Bas O, Odaci E, Mollaoglu H, Ucok K, Kaplan S. 2009b. Chronic prenatal exposure to the 900 megahertz electromagnetic field induces pyramidal cell loss in the hippocampus of newborn rats. Toxicol Ind Health 25:377-384.

Carballo-Quintás M, Martínez-Silva I, Cadarso-Suárez C, Alvarez-Figueiras M, Ares-Pena F, López-Martín E. 2011. A study of neurotoxic biomarkers, c-fos and GFAP after acute exposure to GSM radiation at 900MHz in the picrotoxin model of rat brains. Neurotoxicology 32:478-494.

Orendacova J, Orendac M, Mojzis M, Labun J, Martoncikova M, Saganova K, Lievajova K, Blasko J, Abdiova H, Galik J, Racekova E. 2011. Effects of short-duration electromagnetic radiation on early postnatal neurogenesis in rats: Fos and NADPH-d histochemical studies. Acta Histochem 113:723-728.

Sonmez OF, Odaci E, Bas O, Kaplan S. 2010. Purkinje cell number decreases in the adult female rat cerebellum following exposure to 900 MHz electromagnetic field. Brain Res 1356:95-101.

動物実験研究（神経変性）

Ammari M, Gamez C, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek H, De Seze R. 2010. GFAP expression in the rat brain following sub-chronic exposure to a 900 MHz electromagnetic field signal. Int J Radiat Biol 86:367-375.

Arendash GW, Mori T, Dorsey M, Gonzalez R, Tajiri N, Borlongan C. 2012. Electromagnetic treatment to old Alzheimer's mice reverses beta-amyloid deposition, modifies cerebral blood flow, and provides selected cognitive benefit. PLoS One 7:e35751.

Arendash GW, Sanchez-Ramos J, Mori T, Mamcarz M, Lin X, Runfeldt M, Wang L, Zhang G, Sava V, Tan J, Cao C. 2010. Electromagnetic field treatment protects against and reverses cognitive impairment in Alzheimer's disease mice. J Alzheimers Dis 19:191-210.

動物実験研究（その他）

Bouji M, Lecomte A, Hode Y, De Seze R, Villegier AS. 2012. Effects of 900 MHz radiofrequency on corticosterone, emotional memory and neuroinflammation in middle-aged rats. Exp Gerontol 47:444-451.

Maskey D, Kim H-J, Kim HG, Kim MJ. 2012. Calcium-binding proteins and GFAP immunoreactivity alterations in murine hippocampus after 1 month of exposure to 835MHz radiofrequency at SAR values of 1.6 and 4.0 W/kg. 506:292-296.

Maskey D, Kim M, Aryal B, Pradhan J, Choi IY, Park KS, Son T, Hong SY, Kim SB, Kim HG, Kim MJ. 2010a. Effect of 835 MHz radiofrequency radiation exposure on calcium binding proteins in the hippocampus of the mouse brain. Brain Res 1313:232-241.

Maskey D, Pradhan J, Aryal B, Lee CM, Choi IY, Park KS, Kim SB, Kim HG, Kim MJ. 2010b. Chronic 835-MHz radiofrequency exposure to mice hippocampus alters the distribution of calbindin and GFAP immunoreactivity. Brain Res 1346:237-246.

Prochnow N, Gebing T, Ladage K, Krause-Finkeldey D, El Ouardi A, Bitz A, Streckert J, Hansen V, Dermietzel R. 2011. Electromagnetic field effect or simply stress? Effects of UMTS exposure on hippocampal longterm plasticity in the context of procedure related hormone release. PLoS One 6:e19437.

Yang L, Hao D, Wang M, Zeng Y, Wu S, Zeng Y. 2012. Cellular neoplastic transformation induced by 916 MHz microwave radiation. Cell Mol Neurobiol 32:1039-1046.

細胞研究

Campisi A, Gulino M, Acquaviva R, Bellia P, Raciti G, Grasso R, Musumeci F, Vanella A, Triglia A. 2010. Reactive oxygen species levels and DNA fragmentation on astrocytes in primary culture after acute exposure to low intensity microwave electromagnetic field. Neurosci Lett 473:52-55.

Del Vecchio G, Giuliani A, Fernandez M, Mesirca P, Bersani F, Pinto R, Ardoino L, Lovisolo GA, Giardino L, Calza L. 2009. Continuous exposure to 900MHz GSM-modulated EMF alters morphological maturation of neural cells. Neurosci Lett 455:173-177.

Hao Y, Yang X, Chen C, Yuan W, Wang X, Li M, Yu Z. 2010. STAT3 signalling pathway is involved in the activation of microglia induced by 2.45 GHz electromagnetic fields. Int J Radiat Biol 86:27-36.

Hirose H, Sasaki A, Ishii N, Sekijima M, Iyama T, Nojima T, Ugawa Y. 2010. 1950 MHz IMT-2000 field does not activate microglial cells in vitro. Bioelectromagnetics 31:104-112.

Liu YX, Tai JL, Li GQ, Zhang ZW, Xue JH, Liu HS, Zhu H, Cheng JD, Liu YL, Li AM, Zhang Y. 2012. Exposure to 1950-MHz TD-SCDMA electromagnetic fields affects the apoptosis of astrocytes via caspase-3-dependent pathway. PLoS One 7:e42332.

Sakurai T, Kiyokawa T, Narita E, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. 2011. Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 2.45 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. J Radiat Res 52:185-192.

Xu S, Zhou Z, Zhang L, Yu Z, Zhang W, Wang Y, Wang X, Li M, Chen Y, Chen C, He M, Zhang G, Zhong M. 2010. Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons. Brain Res 1311:189-196.

Yang X, He G, Hao Y, Chen C, Li M, Wang Y, Zhang G, Yu Z. 2010. The role of the JAK2-STAT3 pathway in pro-inflammatory responses of EMF-stimulated N9 microglial cells. J Neuroinflammation 7:54.

Zeni O, Sannino A, Sarti M, Romeo S, Massa R, Scarfi MR. 2012. Radiofrequency radiation at 1950 MHz (UMTS) does not affect key cellular endpoints in neuron-like PC12 cells. Bioelectromagnetics 33:497-507.

(3) 生殖・成長発達機能への影響

ヒトまたはヒト試料を対象とした研究

Avendano C, Mata A, Sanchez Sarmiento CA, Doncel GF. 2012. Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. Fertil Steril 97:39-45 e32.

Baste V, Mild KH, Moen BE. 2010. Radiofrequency exposure on fast patrol boats in the Royal Norwegian Navy--an approach to a dose assessment. Bioelectromagnetics 31:350-360.

Choy JT, Brannigan RE. 2012. Words of wisdom. Re: Use of laptop computers connected to Internet through Wi-Fi

decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. Eur Urol 62:1196-1197.

Cooper TG. 2012. Comment on the morphology of spermatozoa in air-dried seminal smears. Int J Androl 35:105-106.

De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. 2009. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. PLoS One 4:e6446.

Dore JF, Chignol MC. 2012. Laptop computers with Wi-Fi decrease human sperm motility and increase sperm DNA fragmentation. Fertil Steril 97:e12; author reply e13.

Falzone N, Huyser C, Becker P, Leszczynski D, Franken DR. 2011. The effect of pulsed 900-MHz GSM mobile phone radiation on the acrosome reaction, head morphometry and zona binding of human spermatozoa. Int J Androl 34:20-26.

Falzone N, Huyser C, Fourie F, Toivo T, Leszczynski D, Franken D. 2008. In vitro effect of pulsed 900 MHz GSM radiation on mitochondrial membrane potential and motility of human spermatozoa. Bioelectromagnetics 29:268-276.

Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. 2010. Mobile phone radiation does not induce pro-apoptosis effects in human spermatozoa. Radiat Res 174:169-176.

Freour T, Barriere P. 2012. Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. Fertil Steril 97:e14; author reply e15.

Gutschi T, Mohamad Al-Ali B, Shamloul R, Pummer K, Trummer H. 2011. Impact of cell phone use on men's semen parameters. Andrologia 43:312-316.

Khalid M, Mee T, Peyman A, Addison D, Calderon C, Maslanyj M, Mann S. 2011. Exposure to radio frequency electromagnetic fields from wireless computer networks: duty factors of Wi-Fi devices operating in schools. Prog Biophys Mol Biol 107:412-420.

Peyman A, Khalid M, Calderon C, Addison D, Mee T, Maslanyj M, Mann S. 2011. Assessment of exposure to electromagnetic fields from wireless computer networks (wi-fi) in schools; results of laboratory measurements. Health Phys 100:594-612.

動物実験研究（精子形成・運動能）

Chaturvedi CM, Singh VP, Singh P, Basu P, Singaravel M, Shukla RK, Dhawan A, Pati AK, Gangwar RK, Singh SP. 2011. 2.45 GHz (CW) microwave irradiation alters circadian organization, spatial memory, DNA structure in the brain cells and blood cell counts of male mice, Mus musculus. Progress In Electromagnetics Research B 29:23-42.

Imai N, Kawabe M, Hikage T, Nojima T, Takahashi S, Shirai T. 2011. Effects on rat testis of 1.95-GHz W-CDMA for IMT-2000 cellular phones. Syst Biol Reprod Med 57:204-209.

Kesari KK, Behari J. 2010. Microwave exposure affecting reproductive system in male rats. Appl Biochem Biotechnol 162:416-428.

Kumar S, Kesari KK, Behari J. 2011a. Influence of microwave exposure on fertility of male rats. Fertil Steril 95:1500-1502.

Kumar S, Kesari KK, Behari J. 2011b. The therapeutic effect of a pulsed electromagnetic field on the reproductive patterns of male Wistar rats exposed to a 2.45-GHz microwave field. Clinics (Sao Paulo) 66:1237-1245.

Lee HJ, Jin YB, Kim TH, Pack JK, Kim N, Choi HD, Lee JS, Lee YS. 2012. The effects of simultaneous combined exposure to CDMA and WCDMA electromagnetic fields on rat testicular function. Bioelectromagnetics 33:356-364.

Lee HJ, Pack JK, Kim TH, Kim N, Choi SY, Lee JS, Kim SH, Lee YS. 2010. The lack of histological changes of CDMA cellular phone-based radio frequency on rat testis. Bioelectromagnetics 31:528-534.

動物実験研究（発生・発達）

Bas O, Odaci E, Kaplan S, Acer N, Ucok K, Colakoglu S. 2009. 900 MHz electromagnetic field exposure affects qualitative and quantitative features of hippocampal pyramidal cells in the adult female rat. Brain Res 1265:178-185.

Jin YB, Lee HJ, Seon Lee J, Pack JK, Kim N, Lee YS. 2011. One-year, simultaneous combined exposure of CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields to rats. Int J Radiat Biol 87:416-423.

Lee HJ, Lee JS, Pack JK, Choi HD, Kim N, Kim SH, Lee YS. 2009. Lack of teratogenicity after combined exposure of pregnant mice to CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields. Radiat Res 172:648-652.

Ogawa K, Nabae K, Wang J, Wake K, Watanabe S, Kawabe M, Fujiwara O, Takahashi S, Ichihara T, Tamano S, Shirai T. 2009. Effects of gestational exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular phones: Lack of embryotoxicity and teratogenicity in rats. Bioelectromagnetics 30:205-212.

Ozlem Nisbet H, Nisbet C, Akar A, Cevik M, Karayigit MO. 2012. Effects of exposure to electromagnetic field (1.8/0.9 GHz) on testicular function and structure in growing rats. Res Vet Sci 93:1001-1005.

Poulletier De Gannes F, Haro E, Hurtier A, Taxile M, Athane A, Ait‐Aissa S, Masuda H, Percherncier Y, Ruffié G, Billaudel B. 2012. Effect of In Utero Wi‐Fi Exposure on the Pre‐and Postnatal Development of Rats. Birth Defects Res B Dev Reprod Toxicol 95:130-136.

Sambucci M, Laudisi F, Nasta F, Pinto R, Lodato R, Altavista P, Lovisolo GA, Marino C, Pioli C. 2010. Prenatal exposure to non-ionizing radiation: effects of WiFi signals on pregnancy outcome, peripheral B-cell compartment and antibody production. Radiat Res 174:732-740.

Sambucci M, Laudisi F, Nasta F, Pinto R, Lodato R, Lopresto V, Altavista P, Marino C, Pioli C. 2011. Early life exposure to 2.45GHz WiFi-like signals: effects on development and maturation of the immune system. Prog

Biophys Mol Biol 107:393-398.

Sommer AM, Grote K, Reinhardt T, Streckert J, Hansen V, Lerchl A. 2009. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multi-generation study. Radiat Res 171:89-95.

Takahashi S, Imai N, Nabae K, Wake K, Kawai H, Wang J, Watanabe S, Kawabe M, Fujiwara O, Ogawa K, Tamano S, Shirai T. 2010. Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. Radiat Res 173:362-372.

Watilliaux A, Edeline JM, Leveque P, Jay TM, Mallat M. 2011. Effect of exposure to 1,800 MHz electromagnetic fields on heat shock proteins and glial cells in the brain of developing rats. Neurotox Res 20:109-119.

(4) 電磁過敏症

プロボケーション（ヒト被検者）研究

Augner C, Gnambs T, Winker R, Barth A. 2012. Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: a meta-analysis. Sci Total Environ 424:11-15.

Croft RJ, Leung S, Mckenzie RJ, Loughran SP, Iskra S, Hamblin DL, Cooper NR. 2010. Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. Bioelectromagnetics 31:434-444.

Curcio G, Ferrara M, Limongi T, Tempesta D, Di Sante G, De Gennaro L, Quaresima V, Ferrari M. 2009. Acute mobile phones exposure affects frontal cortex hemodynamics as evidenced by functional near-infrared spectroscopy. J Cereb Blood Flow Metab 29:903-910.

Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel C, Sauter C. 2010. Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. Am J Hum Biol 22:613-618.

Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, Simba AY, Wake K, Nishikawa M, Miyawaki K, Yasuda A, Uchiyama M, Yamashita HK, Masuda H, Hirota S, Takahashi M, Okano T, Inomata-Terada S, Sokejima S, Maruyama E, Watanabe S, Taki M, Ohkubo C, Ugawa Y. 2009. Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. Bioelectromagnetics 30:100-113.

Hillert L. 2004. Electromagnetic hypersensitivity, working group report on characterization, diagnosis and treatment. WHO International Seminar and Working Group meeting on EMF hypersensitivity. http://www.who.int/peh-emf/meetings/hypersensitivity_prague2004/en/index.html,

Hillert L, Akerstedt T, Lowden A, Wiholm C, Kuster N, Ebert S, Boutry C, Moffat SD, Berg M, Arnetz BB. 2008. The effects of 884 MHz GSM wireless communication signals on headache and other symptoms: an experimental provocation study. Bioelectromagnetics 29:185-196.

Kwon MS, Huotilainen M, Shestakova A, Kujala T, Naatanen R, Hamalainen H. 2010. No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study. Bioelectromagnetics 31:191-199.

Leitgeb N, Schröttner J, Cech R, Kerbl R. 2008. EMF-protection sleep study near mobile phone base stations. Somnologie 12:234-243.

Loughran SP, Mckenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. 2012. Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem. Bioelectromagnetics 33:86-93.

Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson JP, Arnetz B. 2011. Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. Bioelectromagnetics 32:4-14.

Mortazavi SM, Mahbudi A, Atefi M, Bagheri S, Bahaedini N, Besharati A. 2011. An old issue and a new look: electromagnetic hypersensitivity caused by radiations emitted by GSM mobile phones. Technol Health Care 19:435-443.

Nam KC, Lee JH, Noh HW, Cha EJ, Kim NH, Kim DW. 2009. Hypersensitivity to RF fields emitted from CDMA cellular phones: a provocation study. Bioelectromagnetics 30:641-650.

Nieto-Hernandez R, Williams J, Cleare AJ, Landau S, Wessely S, Rubin GJ. 2011. Can exposure to a terrestrial trunked radio (TETRA)-like signal cause symptoms? A randomised double-blind provocation study. Occup Environ Med 68:339-344.

Riddervold IS, Kjaergaard SK, Pedersen GF, Andersen NT, Franek O, Pedersen AD, Sigsgaard T, Zachariae R, Molhave L, Andersen JB. 2010. No effect of TETRA hand portable transmission signals on human cognitive function and symptoms. Bioelectromagnetics 31:380-390.

Roosli M, Frei P, Mohler E, Hug K. 2010. Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. Bull World Health Organ 88:887-896F.

Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, Murbach M, Bratic Grunauer A, Rusterholz T, Bersagliere A, Kuster N, Achermann P. 2012a. Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. J Sleep Res 21:50-58.

Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP. 2012b. Sleep EEG alterations: effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. J Sleep Res 21:620-629.

Spichtig S, Scholkmann F, Chin L, Lehmann H, Wolf M. 2012. Assessment of intermittent UMTS electromagnetic field effects on blood circulation in the human auditory region using a near-infrared system. Bioelectromagnetics 33:40-54.

Wallace D, Eltiti S, Ridgewell A, Garner K, Russo R, Sepulveda F, Walker S, Quinlan T, Dudley S, Maung S, Deeble R, Fox E. 2010. Do TETRA (Airwave) base station signals have a short-term impact on health and well-being? A randomized double-blind provocation study. Environ Health Perspect 118:735-741.

疫学調査（横断研究）

Augner C, Hacker GW. 2009. Are people living next to mobile phone base stations more strained? Relationship of health concerns, self-estimated distance to base station, and psychological parameters. Indian J Occup Environ Med 13:141-145.

Baliatsas C, Van Kamp I, Bolte J, Schipper M, Yzermans J, Lebret E. 2012. Non-specific physical symptoms and electromagnetic field exposure in the general population: can we get more specific? A systematic review. Environ Int 41:15-28.

Baliatsas C, Van Kamp I, Kelfkens G, Schipper M, Bolte J, Yzermans J, Lebret E. 2011. Non-specific physical symptoms in relation to actual and perceived proximity to mobile phone base stations and powerlines. BMC Public Health 11:421.

Berg-Beckhoff G, Blettner M, Kowall B, Breckenkamp J, Schlehofer B, Schmiedel S, Bornkessel C, Reis U, Potthoff P, Schuz J. 2009. Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 2 of a cross-sectional study with measured radio frequency electromagnetic fields. Occup Environ Med 66:124-130.

Bortkiewicz A, Gadzicka E, Szyjkowska A, Politanski P, Mamrot P, Szymczak W, Zmyslony M. 2012. Subjective complaints of people living near mobile phone base stations in Poland. Int J Occup Med Environ Health 25:31-40.

Frei P, Mohler E, Braun-Fahrlander C, Frohlich J, Neubauer G, Roosli M, Team Q. 2012. Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. Environ Int 38:29-36.

Heinrich A, Szostek A, Nees F, Meyer P, Semmler W, Flor H. 2011. Effects of static magnetic fields on cognition, vital signs, and sensory perception: a meta-analysis. J Magn Reson Imaging 34:758-763.

Heinrich S, Thomas S, Heumann C, Von Kries R, Radon K. 2010. Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. Environ Health 9:75.

Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Cartellieri M, Denk-Linnert DM, Katzinger M, Ehrenberger K, Kundi M. 2010. Tinnitus and mobile phone use. Occup Environ Med 67:804-808.

Khan MM. 2008. Adverse effects of excessive mobile phone use. Int J Occup Med Environ Health 21:289-293.

Korpinen L, Paakkonen R. 2009. Mental symptoms and the use of new technical equipment. Int J Occup Saf Ergon 15:385-400.

Kuhnlein A, Heumann C, Thomas S, Heinrich S, Radon K. 2009. Personal exposure to mobile communication networks and well-being in children--a statistical analysis based on a functional approach. Bioelectromagnetics 30:261-269.

Milde-Busch A, Von Kries R, Thomas S, Heinrich S, Straube A, Radon K. 2010. The association between use of electronic media and prevalence of headache in adolescents: results from a population-based cross-sectional study.

BMC Neurol 10:12.

Mohler E, Frei P, Braun-Fahrlander C, Frohlich J, Neubauer G, Roosli M, Qualifex T. 2010. Effects of everyday radiofrequency electromagnetic-field exposure on sleep quality: a cross-sectional study. Radiat Res 174:347-356.

Rubin GJ, Nieto-Hernandez R, Wessely S. 2010. Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly 'electromagnetic hypersensitivity'): An updated systematic review of provocation studies. Bioelectromagnetics 31:1-11.

Sudan M, Kheifets L, Arah O, Olsen J, Zeltzer L. 2012. Prenatal and Postnatal Cell Phone Exposures and Headaches in Children. Open Pediatr Med Journal 6:46-52.

Thomas S, Heinrich S, Von Kries R, Radon K. 2010. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. Eur J Epidemiol 25:135-141.

Thomee S, Harenstam A, Hagberg M. 2011. Mobile phone use and stress, sleep disturbances, and symptoms of depression among young adults--a prospective cohort study. BMC Public Health 11:66.

3.1.3　中間周波（IF）電磁界の健康影響

Koyama S, Narita E, Shinohara N, Miyakoshi J. 2014. Effect of an intermediate-frequency magnetic field of 23 kHz at 2 mT on chemotaxis and phagocytosis in neutrophil-like differentiated human HL-60 cells. Int J Environ Res Public Health 11:9649-9659.

Miyakoshi J, Horiuchi E, Nakahara T, Sakurai T. 2007. Magnetic fields generated by an induction heating (IH) cook top do not cause genotoxicity in vitro. Bioelectromagnetics 28:529-537.

Nishimura I, Imai S, Negishi T. 2009. Lack of chick embryotoxicity after 20 kHz, 1.1 mT magnetic field exposure. Bioelectromagnetics 30:573-582.

Nishimura I, Oshima A, Shibuya K, Mitani T, Negishi T. 2012. Absence of reproductive and developmental toxicity in rats following exposure to a 20-kHz or 60-kHz magnetic field. Regul Toxicol Pharmacol 64:394-401.

Nishimura I, Oshima A, Shibuya K, Negishi T. 2011. Lack of teratological effects in rats exposed to 20 or 60 kHz magnetic fields. Birth Defects Res B Dev Reprod Toxicol 92:469-477.

Nishimura I, Tanaka K, Negishi T. 2013. Intermediate frequency magnetic field and chick embryotoxicity. Congenit Anom (Kyoto) 53:115-121.

Sakurai T, Kiyokawa T, Kikuchi K, Miyakoshi J. 2009. Intermediate frequency magnetic fields generated by an induction heating (IH) cooktop do not affect genotoxicities and expression of heat shock proteins. Int J Radiat Biol 85:883-890.

Sakurai T, Narita E, Shinohara N, Miyakoshi J. 2012. Intermediate frequency magnetic field at 23 kHz does not modify gene expression in human fetus-derived astroglia cells. Bioelectromagnetics 33:662-669.

Sakurai T, Narita E, Shinohara N, Miyakoshi J. 2013. Alteration of gene expression by exposure to a magnetic field at 23 kHz is not detected in astroglia cells. J Radiat Res 54:1005-1009.

Ushiyama A, Ohtani S, Suzuki Y, Wada K, Kunugita N, Ohkubo C. 2014. Effects of 21-kHz intermediate frequency magnetic fields on blood properties and immune systems of juvenile rats. Int J Radiat Biol 90:1211-1217.

Win-Shwe TT, Ohtani S, Ushiyama A, Fujimaki H, Kunugita N. 2013. Can intermediate-frequency magnetic fields affect memory function-related gene expressions in hippocampus of C57BL/6J mice? J Toxicol Sci 38:169-176.

3.1.4 テラヘルツ（THz）の健康影響

Alexandrov BS, Rasmussen KO, Bishop AR, Usheva A, Alexandrov LB, Chong S, Dagon Y, Booshehri LG, Mielke CH, Phipps ML, Martinez JS, Chen HT, Rodriguez G. 2011. Non-thermal effects of terahertz radiation on gene expression in mouse stem cells. Biomed Opt Express 2:2679-2689.

Berns MW, Bewley W. 1987. Inhibition of nucleic acid synthesis in cells exposed to 200 micrometers radiation from the free electron laser. Photochem Photobiol 46:165-167.

Berns MW, Bewley W, Sun CH, Templin P. 1990. Free electron laser irradiation at 200 microns affects DNA synthesis in living cells. Proc Natl Acad Sci U S A 87:2810-2812.

Bock J, Fukuyo Y, Kang S, Phipps ML, Alexandrov LB, Rasmussen KO, Bishop AR, Rosen ED, Martinez JS, Chen HT, Rodriguez G, Alexandrov BS, Usheva A. 2010. Mammalian stem cells reprogramming in response to terahertz radiation. PLoS One 5:e15806.

Bondar NP, Kovalenko IL, Avgustinovich DF, Khamoyan AG, Kudryavtseva NN. 2008. Behavioral effect of terahertz waves in male mice. Bull Exp Biol Med 145:401-405.

Bourne N, Clothier RH, D'arienzo M, Harrison P. 2008. The effects of terahertz radiation on human keratinocyte primary cultures and neural cell cultures. Altern Lab Anim 36:667-684.

Clothier RH, Bourne N. 2003. Effects of THz Exposure on Human Primary Keratinocyte Differentiation and Viability. J Biol Phys 29:179-185.

Hintzsche H, Jastrow C, Heinen B, Baaske K, Kleine-Ostmann T, Schwerdtfeger M, Shakfa MK, Karst U, Koch M, Schrader T, Stopper H. 2013. Terahertz radiation at 0.380 THz and 2.520 THz does not lead to DNA damage in skin cells in vitro. Radiat Res 179:38-45.

Hintzsche H, Jastrow C, Kleine-Ostmann T, Karst U, Schrader T, Stopper H. 2012. Terahertz electromagnetic

fields (0.106 THz) do not induce manifest genomic damage in vitro. PLoS One 7:e46397.

Hintzsche H, Jastrow C, Kleine-Ostmann T, Stopper H, Schmid E, Schrader T. 2011. Terahertz radiation induces spindle disturbances in human-hamster hybrid cells. Radiat Res 175:569-574.

Kirichuck VF, Ivanov AN, Antipova ON, Krenickiy AP, Mayborodin AV, Tupikin VD. 2008. Sex-specific differences in changes of disturbed functional activity of platelets in albino rats under the effect of terahertz electromagnetic radiation at nitric oxide frequencies. Bull Exp Biol Med 145:75-77.

Kirichuk VF, Efimova NV, Andronov EV. 2009. Effect of high power terahertz irradiation on platelet aggregation and behavioral reactions of albino rats. Bull Exp Biol Med 148:746-749.

Kirichuk VF, Ivanov AN, Kirijazi TS. 2011. Correction of microcirculatory disturbances with terahertz electromagnetic radiation at nitric oxide frequencies in albino rats under conditions of acute stress. Bull Exp Biol Med 151:288-291.

Kirichuk VF, Tsymbal AA. 2009. Effects of terahertz irradiation at nitric oxide frequencies on intensity of lipoperoxidation and antioxidant properties of the blood under stress conditions. Bull Exp Biol Med 148:200-203.

Kirichuk VF, Tsymbal AA. 2012. Effects of terahertz radiation at atmospheric oxygen frequency of 129 GHz on blood nitrite concentrations under conditions of different types of stress against the background of administration of nonselective inhibitor of constitutive NO-synthases. Bull Exp Biol Med 152:435-438.

Korenstein-Ilan A, Barbul A, Hasin P, Eliran A, Gover A, Korenstein R. 2008. Terahertz radiation increases genomic instability in human lymphocytes. Radiat Res 170:224-234.

Ostrovskiy N, Nikituk C, Kirichuk V, Krenitskiy A, Majborodin A, Tupikin V, Shub G. Application of the terahertz waves in therapy of burn wounds. Infrared and Millimeter Waves and 13th International Conference on Terahertz Electronics, 2005. IRMMW-THz 2005. The Joint 30th International Conference on, 2005. IEEE, 301-302.

Williams R, Schofield A, Holder G, Downes J, Edgar D, Harrison P, Siggel-King M, Surman M, Dunning D, Hill S, Holder D, Jackson F, Jones J, Mckenzie J, Saveliev Y, Thomsen N, Williams P, Weightman P. 2013. The influence of high intensity terahertz radiation on mammalian cell adhesion, proliferation and differentiation. Phys Med Biol 58:373-391.

Wilmink GJ, Rivest BD, Roth CC, Ibey BL, Payne JA, Cundin LX, Grundt JE, Peralta X, Mixon DG, Roach WP. 2011. In vitro investigation of the biological effects associated with human dermal fibroblasts exposed to 2.52 THz radiation. Lasers Surg Med 43:152-163.

Zeni O, Gallerano GP, Perrotta A, Romano M, Sannino A, Sarti M, D'arienzo M, Doria A, Giovenale E, Lai A, Messina G, Scarfi MR. 2007. Cytogenetic observations in human peripheral blood leukocytes following in vitro exposure to THz radiation: a pilot study. Health Phys 92:349-357.

3.1.5 複合ばく露の健康影響

Hong MN, Kim BC, Ko YG, Lee YS, Hong SC, Kim T, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee JS. 2012. Effects of 837 and 1950 MHz radiofrequency radiation exposure alone or combined on oxidative stress in MCF10A cells. 33:604-611.

Jin YB, Choi HD, Kim BC, Pack JK, Kim N, Lee YS. 2013. Effects of simultaneous combined exposure to CDMA and WCDMA electromagnetic fields on serum hormone levels in rats. 54:430-437.

Jin YB, Pyun BJ, Jin H, Choi HD, Pack JK, Kim N, Lee YS. 2012. Effects of simultaneous combined exposure to CDMA and WCDMA electromagnetic field on immune functions in rats. 88:814-821.

Kang KA, Lee HC, Lee JJ, Hong MN, Park MJ, Lee YS, Choi HD, Kim N, Ko YG, Lee JS. 2014. Effects of combined radiofrequency radiation exposure on levels of reactive oxygen species in neuronal cells. 55:265-276.

Kim HN, Han NK, Hong MN, Chi SG, Lee YS, Kim T, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee JS. 2012. Analysis of the cellular stress response in MCF10A cells exposed to combined radio frequency radiation. 53:176-183.

Lee HJ, Jin YB, Kim TH, Pack JK, Kim N, Choi HD, Lee JS, Lee YS. 2012. The effects of simultaneous combined exposure to CDMA and WCDMA electromagnetic fields on rat testicular function. 33:356-364.

Lee HJ, Jin YB, Lee JS, Choi SY, Kim TH, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee YS. 2011. Lymphoma development of simultaneously combined exposure to two radiofrequency signals in AKR/J mice. 32:485-492.

Lee HJ, Lee JS, Pack JK, Choi HD, Kim N, Kim SH, Lee YS. 2009. Lack of teratogenicity after combined exposure of pregnant mice to CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields. 172:648-652.

Maaroufi K, Had-Aissouni L, Melon C, Sakly M, Abdelmelek H, Poucet B, Save E. 2014. Spatial learning, monoamines and oxidative stress in rats exposed to 900 MHz electromagnetic field in combination with iron overload. 258:80-89.

Paulraj R, Behari J. 2011. Effects of low level microwave radiation on carcinogenesis in Swiss Albino mice. 348:191-197.

Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, Dasenbrock C. 2010. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. 86:529-541.

付録４　総務省委託研究に関する資料

１）国際機関等によるレビュー文書への引用状況

平成 19 年度以降に実施された総務省委託研究の結果の概要を以下にまとめる。また、これまでに実施された総務省委託研究の成果として発表された論文等が、2014 年に発表された WHO の EHC ドラフト、ICNIRP が近年に発行したレビュー文書、SCENIHR による報告等における引用状況を表 4.1 に示す。

■表 4.1. WHO の EHC のドラフト（平成 26 年 10 月公表）に引用された、総務省委託研究からの論文

Cardis E et al. (2011b). Estimation of RF energy absorbed in the brain from mobile phones in the Interphone Study. Occup Environ Med, 68(9):686-693. Epub 2011/06/11.
Fukunaga K, Watanabe S, Yamanaka Y (2004). Dielectric properties of tissue-equivalent liquids and their effects on specific absorption rate. IEEE Trans Electromagn Compat, 46:126-129.
Furubayashi T et al. (2009). Effects of Short-Term W-CDMA Mobile Phone Base Station Exposure on Women With or Without Mobile Phone Related Symptoms. Bioelectromagnetics, 30(2):100-113.
Hata K et al. (2005). Short term exposure to 1439 MHz pulsed TDMA field does not alter melatonin synthesis in rats. Bioelectromagnetics, 26(1):49-53.
Hirata A (2005). Temperature increase in human eyes due to near-field and far-field exposures at 900 MHz, 1.5 GHz, and 1.9 GHz. IEEE Trans Electromagn Compat, 47(1):68-76.
Hirata A et al. (2006). Computational verification of anesthesia effect on temperature variations in rabbit eyes exposed to 2.45 GHz microwave energy. Bioelectromagnetics, 27(8):602-612.
Hirata A et al. (2006). Correlation between maximum temperature increase and peak SAR with different average schemes and masses. IEEE Trans Electromagn Compat, 48(3):569-578.
Hirata A et al. (2010). Acute dosimetry and estimation of threshold-inducing behavioral signs of thermal stress in rabbits at 2.45-GHz microwave exposure. IEEE Trans Biomed Eng, 57(5):1234-1242.
Hirata A et al. (2011). Computational modeling of temperature elevation and thermoregulatory response in the brains of anesthetized rats locally exposed at 1.5 GHz. Phys Med Biol, 56(23):7639-7657.
Hirata A, Asano T, Fujiwara O (2007). FDTD analysis of human body-core temperature elevation due to RF far969 field energy prescribed in the ICNIRP guidelines. Phys Med Biol, 52(16):5013-5023.
Hirata A, Fujiwara O (2009). The correlation between mass-averaged SAR and temperature elevation in the human head model exposed to RF near-fields from 1 to 6 GHz. Phys Med Biol, 54(23):7227-7238.
Hirata A, Ito N, Fujiwara O (2009). Influence of electromagnetic polarization on the whole-body averaged SAR in children for plane-wave exposures. Phys Med Biol, 54(4):N59-65.

Hirata A, Matsuyama SI, Shiozawa T (2000). Temperature rises in the human eye exposed to EM waves in the frequency range 0.6-6 GHz. IEEE Trans Electromagn Compat, 42(4):386-393.
Hirata A, Morita M, Shiozawa T (2003). Temperature increase in the human head due to a dipole antenna at microwave frequencies. IEEE Trans Electromagn Compat, 45(1):109-116.
Hirata A, Shiozawa T (2003). Correlation of maximum temperature increase and peak SAR in the human head due to handset antennas. IEEE Trans Microw Theory Tech, 51(7):1834-1841.
Hirata A, Shirai K, Fujiwara O (2008). On averaging mass of SAR correlating with temperature elevation due to a dipole antenna. Prog Electromagn Res, 84:221-237.
Imaida K et al. (1998a). The 1.5 GHz electromagnetic near-field used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. Jpn J Cancer Res, 89(10):995-1002.
Imaida K et al. (1998b). Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. Carcinogenesis, 19(2):311-314.
Jin Wang, Shin Koyama, Yoshiki Komatubara, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effect of a 2450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells. Bioelectromagnetics,27, 479-486 (2006)
Kawai H et al. (2006). Simple modeling of an abdomen of pregnant women and its application to SAR estimation. IEICE Trans Comm, E98-B(12):3401-3410.
Kawai H et al. (2010). Computational dosimetry in embryos exposed to electromagnetic plane waves over the frequency range of 10 MHz-1.5 GHz. Phys Med Biol, 55(1):N1-11.
Kojima M et al. (2004). Influence of anesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves Bioelectromagnetics Volume 25, Issue 3, pages 228–233, April 2004
Kojima M et al. (2004). Influence of anesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves. Bioelectromagnetics, 25(3):228-233.
Koyama S et al. (2003). Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells. Mutat 6528 Res, 541(1-2):81-89.
Masuda H et al. (2007a). Effects of acute exposure to a 1439 MHz electromagnetic field on the microcirculatory parameters in rat brain. In Vivo, 21(4):555-562.
Masuda H et al. (2007b). Effects of subchronic exposure to a 1439 MHz electromagnetic field on the microcirculatory parameters in rat brain. In Vivo, 21(4):563-570.

Masuda H et al. (2011). Local exposure of the rat cortex to radiofrequency electromagnetic fields increases local cerebral blood flow along with temperature. J Appl Physiol (1985), 110(1):142-148.

Miyakoshi et al. (2005) exposed human malignant glioma cells (MO54) to 1950 MHz CW RF-EMF
for up to 2 h at SARs of 1, 2, and 10 W/kg. Exposed cells (from 3 to 6 independent experiments) did not show increased HSP27 or HSP70 protein expression. However, cells exposed at a SAR of 10 W/kg for 1–2 h exhibited a significant decrease in the level of phosphorylated-HSP27 relative to the sham-exposed controls ($p<0.05$).

Miyakoshi J et al. (2002). Effects oh high-frequency electromagnetic fields on DNA strand breacks using comet assay
method. Electrical Eng Jpn, 141:9-15.

Miyakoshi J et al. (2005). Effects of exposure to a 1950 MHz radio frequency field on expression of Hsp70 and Hsp27 in
human glioma cells. Bioelectromagnetics, 26(4):251-257.

Nagaoka T et al. (2004). Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic field dosimetry. Phys Med Biol, 49(1):1-15.

Nagaoka T et al. (2007). An anatomically realistic whole-body pregnant-woman model and specific absorption rates for pregnant-woman exposure to electromagnetic plane waves from 10 MHz to 2 GHz. Phys Med Biol, 52(22):6731-6745.

Ogawa K et al. (2009). Effects of gestational exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular phones: lack of embryotoxicity and teratogenicity in rats. Bioelectromagnetics, 30(3):205-212.

Sakurai T, Kiyokawa T, Narita E, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J: Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 2.45 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. , J. Radiat Res (Tokyo), 52(2):185-92. Epub 2011 Feb 19, （2011）

Shin Koyama, Yasuhito Isozumi, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on micronucleus formation in CHO-K1 cells. The Scientific World Journal, 4, 29-40 (2004)

Shin Koyama, Yoshio Takashima, Tomonori Sakurai, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz Electromagnetic Fields with a Wide Range of SARs on Bacterial and HPRT Gene Mutations. Journal of Radiation Research, 48, 69-75 (2007)

Shirai T et al. (2005). Chronic exposure to a 1.439 GHz electromagnetic field used for cellular phones does not promote Nethylnitrosourea induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics, 26(1):59-68.

Shirai T et al. (2007). Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular system on development of N-ethylnitrosourea-induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics,
28(7):562-572.

Takahashi S et al. (2010). Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. Radiat Res, 173(3):362-372.
Takebayashi T et al. (2006). Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. Occup Environ Med, 63(12):802-807. 6938 Epub 2006/08/17.
Takebayashi T et al. (2008). Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. Br J Cancer, 98(3):652-659. Epub 2008/02/08.
Tian F et al. (2002). Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5W/kg in human glioma MO54 cells. Int J Radiat Biol, 78(5):433-440.
Togashi T et al. (2008). FDTD calculations of specific absorption rate in fetus caused by electromagnetic waves from mobile radio terminal using pregnant woman model. IEEE Trans Microw Theory Tech, 56(2):554-559.
Tomoyuki Shirai, Norio Imai, Jianqing Wang, Satoru Takahashi, Mayumi Kawabe, Kanako Wake, Hiroki Kawai, So-Ichi Watanabe, Fumio Furukawa and Osamu Fujiwara (2014). Multigenerational effects of whole body exposure to 2.14 GHz W-CDMA cellular phone signals on brain function in rats. Bioelectromagnetics, 35(7): 497-511.
Tsurita G et al. (2000). Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. Bioelectromagnetics, 21(5):364-371.
WAKE, K., MUKOYAMA, A., WATANABE, S., YAMANAKA, Y., UNO, T. & TAKI, M. (2007) An 2029 exposure system for long-term and large-scale animal bioassay of 1.5-GHz digital cellular phones. IEEE Trans 2030 Microwave Theory and Tech 55(2):343-350.
Wang J et al. (2006). FDTD calculation of whole-body average SAR in adult and child models for frequencies 1118 from 30 MHz to 3 GHz. Phys Med Biol, 51(17):4119-4127.
Wang J, Fujiwara O (1999). FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephones. IEEE Trans Microw Theory Tech, 47(8):1528-1534.
Wang J, Fujiwara O (2003). Comparison and evaluation of electromagnetic absorption characteristics in realistic human head models of adult and children for 900-MHz mobile telephones. IEEE Trans Microw Theory Tech, 51(3):966-971.
WANG, J., FUJIWARA, O., ONO, T. (2002) Dosimetry evaluation of a whole body exposure setup for small animals at 2.45 GHz. IEICE Trans Commun E-85-B(12):2963-2965.
Yamaguchi H et al. (2003). 1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze task only when body temperature is elevated. Bioelectromagnetics, 24(4):223-230.
Yamashita H et al. (2010). Short-term exposure to a 1439-MHz TDMA signal exerts no estrogenic effect in rats. Bioelectromagnetics, 31(7):573-575.

Yoshiki Komatsubara, Hideki Hirose, Tomonori Sakurai, Shin Koyama, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. Mutation Research, 587, 114-119 (2005)
Yoshio Takashima, Hideki Hirose, Shin Koyama, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effects of continuous and intermittent exposure to RF-fields with a wide range of SARs on cell growth, survival and cell cycle distribution. Bioelectromagnetics,27, 392-400 (2006)

■表 4.2. ICNIRP の RF Review（平成 21 年公表）に引用された、総務省委託研究からの論文

A. Hirata, T. Asano, and O. Fujiwara, “FDTD analysis of human body-core temperature elevation due to RF far-field energy prescribed in ICNIRP guidelines,” Phys. Med. Biol., vol.52, pp.5013-5023, 2007
Beard B, Kainz W, Onishi T, Iyama T, Watanabe S, Fujiwara O, Wang J, Bit-Babik G, Faraone A, Wiart J, Christ A, Kuster N, Lee A-K, Kroeze H, Siegbahn M, Keshvari J, Abrishamkar H, Simon W, Manteuffel D, Nikoloski N. Comparisons of computed mobile phone induced SAR in the SAM phantom to that in anatomically correct models of the human head. IEEE Trans Electromagn Compat 48:397-407; 2006.
Cardis E, Deltour I, Mann S, Moissonnier M, Taki M, Varsier N, Wake K, Wiart J. Distribution of RF energy emitted by mobile phones in anatomical structures of the Brain. Phys Med Biol 53:2771-83; 2008.
Dimbylow PJ, Hirata A, Nagaoka T. Intercomparison of whole-body averaged SAR in European and Japanese voxel phantoms. Phys Med Biol 53:5883-97; 2008.
Fukunaga K, Watanabe S; Yamanaka Y. Dielectric properties of tissue-equivalent liquids and their effects on specific absorption rate. IEEE Trans Electromagnetic Compatibility 46:126-129; 2004
Hata K, Yamaguchi H, Tsurita G, Watanabe S, Wake K, Taki M, Ueno S, Nagawa H. Short term exposure to 1439 MHz pulsed TDMA field does not alter melatonin synthesis in rats. Bioelectromagnetics 26: 49-53; 2005.
Hirata A, Watanabe S, Fujiwara O, Kojima M, Sasaki K, Shiozawa T. Temperature elevation in the eye of anatomically based human models for plane-wave exposure. Physics in Medicine and Biology 52:6389-6399; 2007a.
Hirata A, Watanabe S, Kojima M, Hata I, Wake K, Taki M, Sasaki K, Fujiwara O, Shiozawa T. Computational verification of anesthesia effect on temperature variations in rabbit eyes exposed to 2.45 GHz microwave energy. Bioelectromagnetics 27(8):602-612; 2006.
Hirata A, Watanabe S, Kojima M, Hata I, Wake K, Taki M, Sasaki K, Fujiwara O. Computational verification of anesthesia effect on temperature variations in rabbit eyes exposed to 2.45-GHz microwave energy. Bioelectromagnetics 27:602- 612; 2006a.
Hirata A, Watanabe S, Taki M, Fujiwara O, Kojima M, Sasaki K. Computation of temperature elevation in rabbit eye irradiated by 2.45-GHz exposure systems. Health Physics 94 (2):134 – 144; 2008a.

Hirata A, Watanabe S, Taki M, Fujiwara O, Kojima M, Sasaki K. Computation of temperature elevation in rabbit eye irradiated by 2.45-GHz exposure systems. Health Physics 94 (2):134 – 144; 2008a.

Imaida K, Taki M, Watanabe S, Kamimura Y, Ito T, Yamaguchi T, Ito N, Shirai T. The 1.5 GHz electromagnetic near-field used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. Jpn J Cancer Res 89:995-1002; 1998a.

Imaida K, Taki M, Yamaguchi T, Ito T, Watanabe S, Wake K, Aimoto A, Kamimura Y, Ito N, Shirai T. Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. Carcinogenesis 19:311-314; 1998b.

Imaida, K., Kuzutani, K., Wang, J., Fujiwara, O., Ogiso, T., Kato, K., and Shirai, T. Lack of promotion of 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-initiated mouse skin carcinogenesis by 1.5 GHz electromagnetic near fields. Carcinogenesis, 22: 1837-1841, 2001.

Kamimura Y, Komori K, Shoji M, Yamada Y, Watanabe S, Yamanaka Y. Human body impedance for contact current measurement in Japan. IEICE Trans Communications E88-B(8):3263-3267; 2005.

Kojima M, Hata I, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Kamimura Y, Taki M, Sasaki K. Influence of anesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves. Bioelectromagnetics 25(3):228-233; 2004.

Komatsubara Y, Hirose H, Sakurai T, Koyama S, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Effects of highfrequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. Mutation Res 587:114-119; 2005.

Koyama S, Isozumi Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Effects of 2.45-GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on micronucleus formation in CHO-K1 cells. The Scientific World Journal 4(2):29-40; 2004.

Koyama S, Nakahara T, Wake K, Taki M, Isozumi Y, Miyakoshi J. Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells. Mutation Res 541:81-89;2003.

Kuribayashi, M., Wang, J., Fujiwara, O., Doi, Y., Nabae, K., Tamano, S., Ogiso, T., Asamoto, M., and Shirai, T. Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the blood-brain barrier in immature and young rats. Bioelectromagnetics, 26: 578-588, 2005.

Miyakoshi J, Yoshida M, Tarusawa Y, Nojima T, Wake K, Taki M. Effects of high-frequency electromagnetic fields on DNA strand breaks using comet assay method. Electrical Engineering in Japan 141:9-15; 2002.

Mochizuki S, Watanabe S, Taki M, Yamanaka Y, Shirai H. A new iterative MoM/FDTD formulation for simulating human exposure to electromagnetic waves. IEICE Trans Electron E87-C(9):1540-1547; Sept 2004.

Nagaoka T, Kunieda E, Watanabe S. Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz. Phys Med Biol 53:6695-6711; 2008.

Nagaoka T, Togashi T, Saito K, Takahashi M, Ito K, Watanabe S. An anatomically realistic whole-body pregnant-woman model and specific absorption rates for pregnant-woman exposure to electromagnetic plane waves from 10 MHz to 2 GHz. Phys Med Biol 52:6731-6745; 2007.
Nagaoka T, Watanabe S, Saurai K, Kunieda E, Watanabe S, Taki M, Yamanaka Y. Development of realistic high-resolution whole- body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry. Phys Med Biol 49:1-15; 2004.
Shirai T, Ichihara T, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Kawabe M, Taki M, Fujiwara O, Wang J, Takahashi S, Tamano S. Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular system on development of N-ethylnitrosourea-induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics 28:562-572; 2007.
Shirai T, Kawabe M, Ichihara T, Fujiwara O, Taki M, Watanabe S, Wake K, Yamanaka Y, Imaida K, Asamoto M, Tamano S. Chronic exposure to a 1.439 GHz electromagnetic field used for cellular phones does not promote N-ethylnitrosourea induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics 26:59-68; 2005.
Suzuki Y, Baba M, Taki M, Fukunaga K, Watanabe S. Imaging the 3D temperature distributions caused by exposure of dielectric phantoms to high-frequency electromagnetic fields. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 13:744-750; 2006.
Takahashi, S., Inaguma, S., Cho, Y. M., Imaida, K., Wang, J., Fujiwara, O., and Shirai, T. Lack of mutation induction with exposure to 1.5 GHz electromagnetic near fields used for cellular phones in brains of Big Blue mice. Cancer Res, 62: 1956-1960, 2002.
Takashima Y, Hirose H, Koyama S, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Effects of Continuous and Intermittent Exposure to RF Fields With a Wide Range of SARs on Cell Growth, Survival, and Cell Cycle Distribution. Bioelectromagnetics 27(5):392-400; 2006.
Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, Taki M, Wake K, Watanabe S, Yamaguchi N. Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. Occup Environ Med 63(12):802-7; 2006
Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y, Wake K, Taki M, Watanabe S, Akiba S, Yamaguchi N. Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. Br J Cancer 98(3):652-9; 2008.
Terao Y, Okano T, Furubayashi T, Ugawa Y. Effects of thirty-minute mobile phone use on visuo-motor reaction time. Clin Neurophysiol 117(11):2504-2511; 2006.
Tian F, Nakahara T, Wake K, Taki M, Miyakoshi J. Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5W/kg in human glioma MO54 cells. Int J Radiat Biol 78:433-440; 2002.

Togashi T, Nagaoka T, Kikuchi S, Saito K, Watanabe S, Takahashi M, Ito K. FDTD calculations of specific absorption rate in fetus caused by electromagnetic waves from mobile radio terminal using pregnant woman model. IEEE Trans Microwave Theory and Tech 56 2:554 – 559; 2008.

Tsurita G, Nagawa H, Ueno S, Watanabe S, Taki M. Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. Bioelectromagnetics 21:364-371; 2000.

Wake K, Hongo H, Watanabe S, Taki M, Kamimura Y, Yamanaka Y, Uno T, Kojima M, Hata I, Sasaki K. Development of a 2.45-GHz local exposure system for in vivo study on ocular effects. IEEE Trans Microwave Theory and Tech 55:588-596; 2007b.

Wake K, Mukoyama A, Watanabe S, Yamanaka Y, Uno T, Taki M. An exposure system for long-term and large-scale animal bioassay of 1.5-GHz digital cellular phones. IEEE Trans Microwave Theory and Tech 55(2):343-350; 2007a.

Wang J, Fujita M, Fujiwara O, Wake K, Watanabe S. Uncertainty evaluation of an in vivo near-field exposure setup for testing biological effects of cellular phones. IEEE Trans EMC 48:545-551; 2006b.

Wang J, Fujiwara O, Kodera S, Watanabe S. FDTD calculation of whole-body average SAR in adult and child models for frequencies from 30 MHz to 3 GHz. Phys Med Biol 51:4119-4127; 2006c.

Wang J, Fujiwara O, Watanabe S, Yamanaka Y. Computation with a parallel FDTD system of humanbody effect on electromagnetic absorption for portable telephones. IEEE Trans Microwave Theory Tech 52(1):53-58; 2004a.

Wang J, Fujiwara O, Watanabe S. An approximation of aging effect on dielectric tissue properties for SAR assessment of mobile telephones. IEEE Trans Electromagn Compat 48(2):408-413; May 2006a.

Wang J, Koyama S, Komatsubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Effects of a 2450 MHz highfrequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells. Bioelectromagnetics 27:479-486; 2006.

Wang J, Sakurai T, Koyama S, Komatubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Effects of 2450 MHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on methylcholanthrene-induced transformation in C3H10T½ cells. J Radiat Res (Tokyo) 46(3):351-361; 2005.

Watanabe S, Taki M, Nojima T, Fujiwara O. Characteristics of the SAR distributions in a head exposed to electromagnetic fields radiated by a hand-held portable radio. IEEE Trans Microwave Theory Tech 44(10):1874-1883; Oct 1996.

Yamaguchi H, Tsurita G, Ueno S, Watanabe S, Wake K, Taki M, Nagawa H. 1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze only when body temperature is elevated. Bioelectromagnetics 24:223-230; 2003

Yuasa K, Arai N, Okabe S, Tarusawa Y, Nojima T, Hanajima R, Terao Y, Ugawa Y. Effects of thirty minutes mobile phone use on the human sensory cortex. Clin Neurophysiol 117(4):900-905; 2006.

■表 4.3. ICNIRP の RF SCI Review（平成 23 年公表）に引用された、総務省委託研究からの論文

Cardis E, Deltour I, Mann S, Moissonnier M, Taki M, Varsier N, et al.2008. Distribution of RF energy emitted by mobile phones in anatomical structures of the brain. Phy. Med. Biol. 53:2771-2783.
Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y, Wake K, Taki M, Watanabe S, et al. 2008. Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. Br. J. Cancer 98: 652-659.

■表 4.4. IARC monograph No.102(平成 23 年公表)に引用された、総務省委託研究からの論文

Cardis E, Varsier N, Bowman JD et al. (2011b). Estimation of RF energy absorbed in the brain from mobile phones in the Interphone Study. Occup Environ Med, 68: 686–693. doi:10.1136/oemed-2011-100065 PMID:21659468
Dimbylow PJ, Nagaoka T, Xu XG (2009). A comparison of foetal SAR in three sets of pregnant female models. Phys Med Biol, 54: 2755–2767. doi:10.1088/0031- 9155/54/9/011 PMID:19369706
Hirata A, Ito N, Fujiwara O (2009). Influence of electromagnetic polarization on the whole-body averaged SAR in children for plane-wave exposures. Phys Med Biol, 54: N59–N65. doi:10.1088/0031-9155/54/4/N02 PMID:19141885
Imaida, K., Kuzutani, K., Wang, J., Fujiwara, O., Ogiso, T., Kato, K., and Shirai, T. Lack of promotion of 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-initiated mouse skin carcinogenesis by 1.5 GHz electromagnetic near fields. Carcinogenesis, 22: 1837-1841, 2001.
Kawai H, Nagaoka T, Watanabe S et al. (2010). Computational dosimetry in embryos exposed to electromagnetic plane waves over the frequency range of 10 MHz–1.5 GHz Phys Med Biol, 55: 1–11. doi:10.1088/0031-9155/55/1/N01 PMID:19949261
Komatsubara Y, Hirose H, Sakurai T, Koyama S, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J (2005) Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. Mutation Research, 587, 114-119
Koyama S, Isozumi Y, Taki M, Miyakoshi J. et al. (2004) Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on micronucleus formation in CHO-K1 cells. The Scientific World Journal, 4, 229-240
Koyama S, Nakahara T, Wake K et al. (2003). Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells. Mutat Res, 541: 81–89. PMID:14568297
Koyama S, Takashima Y, Sakurai T, Miyakoshi J et al. (2007). Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on bacterial and HPRT gene mutations. J Radiat Res (Tokyo), 48: 69–75. doi:10.1269/jrr.06085 PMID:17179647

Nagaoka T, Kunieda E, Watanabe S (2008). Proportioncorrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz. Phys Med Biol, 53: 6695–6711. doi:10.1088/0031- 9155/53/23/004 PMID:18997264

Nagaoka T, Togashi T, Saito K et al. (2007). An anatomically realistic whole-body pregnant-woman model and specific absorption rates for pregnant-woman exposure to electromagnetic plane waves from 10 MHz to 2 GHz. Phys Med Biol, 52: 6731–6745. doi:10.1088/0031-9155/52/22/012 PMID:17975294

Nagaoka T, Watanabe S (2009). Estimation of variability of specific absorption rate with physical description of children exposed to electromagnetic field in the VHF band. International conference of the IEEE EMBS.

Sakurai T, Kiyokawa T, Narita E, Miyakoshi J et al. (2011). Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 2.45 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. J Radiat Res (Tokyo), 52: 185–192. doi:10.1269/jrr.10116 PMID:21343680

Sato Y, Akiba S, Kubo O, Yamaguchi N (2011). A case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. Bioelectromagnetics, 32: 85–93. doi:10.1002/ bem.20616 PMID:21225885

Shirai T, Ichihara T, Wake K et al. (2007). Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular system on development of N-ethylnitrosourea-induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics, 28: 562–572. doi:10.1002/bem.20324 PMID:1751650

Shirai, T., Kawabe, M., Ichihara, T., Fujiwara, O., Taki, M., Watanabe, S., Wake, K., Yamanaka, Y., Imaida, K., Asamoto, M., and Tamano, S. Chronic exposure to a 1.439 GHz electromagnetic field used for cellular phones does not promote N-ethylnitrosourea induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics, 26: 59-68, 2005.

Takahashi, S., Inaguma, S., Cho, Y. M., Imaida, K., Wang, J., Fujiwara, O., and Shirai, T. Lack of mutation induction with exposure to 1.5 GHz electromagnetic near fields used for cellular phones in brains of Big Blue mice. Cancer Res, 62: 1956-1960, 2002.

Takashima Y, Hirose H, Koyama S, Miyakoshi J et al. (2006). Effects of continuous and intermittent exposure to RF fields with a wide range of SARs on cell growth, survival, and cell cycle distribution. Bioelectromagnetics, 27: 392–400. doi:10.1002/bem.20220 PMID:16615058

Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y et al. (2008). Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. Br J Cancer, 98: 652–659. doi:10.1038/sj.bjc.6604214 PMID:18256587

Tian F, Nakahara T, Wake K et al. (2002). Exposure to 2.45GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5W/kg in human glioma MO54 cells. Int J Radiat Biol, 78: 433–440. doi:10.1080/09553000110115649 PMID:12020433

Tian F, Nakahara T, Wake K, Miyakoshi J et al. (2002). Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5W/kg in human glioma MO54 cells. Int J Radiat Biol, 78: 433–440. doi:10.1080/09553000110115649 PMID:12020433

Togashi T, Nagaoka T, Kikuchi S et al. (2008). TDTD calculations of specific absorption rate in fetus caused by electromagnetic waves from mobile radio terminal using pregnant woman model. IEEE Trans Microw Theory Tech, 56: 554–559. doi:10.1109/TMTT.2007.914625
Wang J, Fujiwara O, Kodera S, Watanabe S (2006). FDTD calculation of whole-body average SAR in adult and child models for frequencies from 30 MHz to 3 GHz. Phys Med Biol, 51: 4119–4127. doi:10.1088/0031-9155/51/17/001 PMID:16912372
Wang J, Koyama S, Komatubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. (2006) Effect of a 2450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells. Bioelectromagnetics,27, 479-486

■表 4.5. IEEE C95.1 (平成 17 年公表)に引用された、総務省委託研究からの論文

Tsurita G., Nagawa H., Ueno S., Watanabe S., Taki M.,"Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field," Bioelectromagnetics, vol. 21, pp. 364 - 371, 2000[IEEE-1400]
Watanabe Y., Tanaka T., Taki M., Watanabe S.,"FDTD analysis of microwave hearing effect," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 49, pp. 2126 - 2132, 2000 [IEEE-1806]
Imaida K., Taki M., Yamaguchi T., Ito T., Watanabi S. i., et al.,"Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a mediumterm liver bioassay," Carcinogenesis, vol. 19, pp. 311 - 314, 1998 [IEEE-1349]
Imaida K., Taki M., Watanabe S., Kamimura Y., Ito T., et al.,"The 1.5 GHz electromagnetic nearfield used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay," Jpn. J. Cancer Res., vol. 89, pp. 995 - 1002, 1998 [IEEE-1350]
Tian F., Nakahara T., Wake K., Taki M., Miyakoshi J.,"Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces HSP70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5 W/kg in human glioma MO54 cells," Int. J. Radiat. Biol., vol. 78, pp. 433 - 440, 2002 [IEEE-1776]
Kojima M., Hata I., Watanabe S., Taki M., Sasaki K., et al.,"Influence of anesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves," Bioelectromagnetics, vol. 25, pp. 228 - 233, 2004 [IEEE-2162]

■表 4.6. SCENIHR2015(平成 27 年 3 月公表) に引用された、総務省委託研究からの論文

Cardis E, N Varsier, J D Bowman, I Deltour, J Figuerola, S Mann, M Moissonnier, M Taki, P Vecchia, R Villegas, M Vrijheid, K Wake, J Wiart, "Estimation of RF energy absorbed in the brain from mobile phones in the Interphone Study", Occup Environ Med a2011;68:9 686-69

Hirata A, Kojima M, Kawai H, Yamashiro Y, Watanabe S, Sasaki H, Fujiwara O. 2010. Acute dosimetry and estimation of threshold-inducing behavioral signs of thermal stress in rabbits at 2.45-GHz microwave exposure. IEEE Trans Biomed Eng 57:1234-1242.

Imai, N., Kawabe, M., Hikage, T., Nojima, T., Takahashi, S., Shirai, T.: Effects on rat testis of 1.95-GHz W-CDMA for IMT-2000 cellular phones. Systems Biology in Reproductive Medicine, 57(4): 204-209, 2011.

Koyama S, Takashima Y, Sakurai T, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. 2007. Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on bacterial and HPRT gene mutations. J Radiat Res 48:69-75.

Masuda H, Ushiyama A, Hirota S, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Taki M, Ohkubo C. 2007. Effects of Acute Exposure to a 1439 MHz Electromagnetic Field on the Microcirculatory Parameters in Rat Brain. in vivo 21: 555-562

Masuda H, Ushiyama A, Hirota S, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Taki M, Ohkubo C. 2007. Effects of Subchronic Exposure to a 1439 MHz Electromagnetic Field on the Microcirculatory Parameters in Rat Brain in vivo 21: 563-570

Nakatani-Enomoto S, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe S, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M, Ugawa Y. 2013. Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. Bioelectromagnetics 34:589-598.

Ogawa K, Nabae K, Wang J, Wake K, Watanabe S, Kawabe M, Fujiwara O, Takahashi S, Ichihara T, Tamano S, Shirai T (2009). Effects of gestational exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular phones: Lack of embryotoxicity and teratogenicity in rats. Bioelectromagnetics. 30(3):205-12. doi: 10.1002/bem.20456.

Ogawa, K., Nabae, K., Wang, J., Wake, K., Watanabe, S., Kawabe, M., Fujiwara, O., Takahashi, S., Ichihara, T., Tamano, S., and Shirai, T. Effects of gestational exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular phones: Lack of embryotoxicity and teratogenicity in rats. Bioelectromagnetics, 30: 205-212, 2009..

Sakurai T, Kiyokawa T, Narita E, 1 Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 245 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. J Radiat Res. 2011; 52 (2) :185-192. PubMed PMID:21343680

Takahashi S, Imai N, Nabae K, Wake K, Kawai H, Wang J, Watanabe S, Kawabe M, Fujiwara O, Ogawa K, Tamano S, Shirai T (2010). Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. Radiat Res. 173(3):362-72. doi: 10.1667/RR1615.1.

Takahashi, S., Imai, N., Nabae, K., Wake, K., Kawai, H., Wang, J., Watanabe, S., Kawabe, M., Fujiwara, O., Ogawa, K., Tamano, S., and Shirai, T. Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. Radiat Res, 173: 362-372, 2010.

２）総務省の電波の安全性に関する研究の各案件概要

総務省で大学への委託等により行った研究のうち、平成 19 年度以降のものの概要について下記にまとめる（なお、平成 18 年度以前の研究の概要については、旧委員会の報告書を参照されたい。）

1 携帯電話の電波ばく露に関わるヒトの症状に関する研究（平成 19～20 年度）

①研究課題選定の背景

携帯電話周波数の電波ばく露が惹起する心身症状の関連性については、社会的に大きな関心であるとともに、ＷＨＯが近年取り上げた大きな課題である。既に提案者らは携帯電話基地局からの電波を模擬した実験室研究で、電波ばく露と症状には関連性がないことを示したが、携帯電話端末からの電波は頭部局所にばく露されることから、端末からのばく露を模擬した実験室研究も必要であると考えられた。

②研究の目的・概要

国際的なガイドライン値を下回る電波でも、その存在を一部の人々は感受し心身症状を生じるとの報告もある。本研究は電波ばく露と症状の関連性について、ボランティアの実験室研究により評価した。

③研究方法

本研究では、首都圏および近郊の成人男女を対象にアンケート調査を実施し、携帯電話の使用と健康症状について調査をおこなった。実験の被験者はこのアンケート結果から「携帯電話使用により健康障害が生じていると回答した群（携帯電話関連症状群)」と「症状のない群（対照群)」に分け、それぞれの群から実験に参加しても良いと了承を得ている方々を対象に実験を行った。実験は電波暗室内で行い、被験者は実験セッションを通じて携帯電話端末を模擬したばく露装置を頭部に装着した。本ばく露装置は実験者による外部制御により電波の放射の有無が被験者には分からないものとなっている。被験者は１セッション 30 分間のうちで、電波持続ばく露、電波間欠ばく露、シャムばく露、音間欠ばく露の一つを受け、上記４条件をランダムかつ条件を知らされずに体験した。セッション中または前後に、主観項目としての電波の感知と違和感、客観項目として神経心理分析、反応時間課題、生理学的指標等のデータを収集し、条件の違いによる差異を検討した。

④研究結果

アンケートの結果では、回答者の約 1.2 パーセントが、携帯端末使用で何らかの症状を呈すると自分自身が考えていることが示された。

実験室研究では、携帯電話関連症状群 15 名と対照群 55 名の計 70 名に対して方法の項で述べた４条件のばく露をおこなった結果、騒音のばく露においては違和感の上昇が認められた一方で、電波ばく露やシャムばく露のセッションにおいては被験者が電波の存在を正確に感知することはなく、電波の存在が違和感や心身の症状の原因になるという結果は得られなかった。同時に、客観的指標である反応時間、心理的指標、生理学的指標においても、携帯電話端末からの電波のばく露による影響は見られなかった。これらの結果は携帯電話関連症候群でも対照群でも同様であった。

⑤結論及び今後の課題について

2.1.4.研究結果より、今回の研究で用いた条件下においては、携帯電話端末からの電波ばく露が、健康に関する症状や愁訴を引き起こしたり、心理的・生理学的な状態の変化をもたらす可能性があるといえる証拠は得られなかった。

しかしながら、ヒトを対象とした実験室研究であり、参加の同意を得られた被験者のみの実験結果であること、また各セッション 30 分間のばく露で長期ばく露による影響の可能性までは否定できないことが今後の課題である。

２．携帯電話端末からの電波によるヒトの眼球運動への影響（平成 19～21 年度）

①研究課題選定の背景

電磁界が人の脳機能に影響を与える可能性、とりわけ注意力・反応時間に影響を与える可能性が指摘されており、ＷＨＯでも検討すべき項目の上位に上がっている。眼球運動の中枢制御機構は注意と非常に深い関係があることが知られ、共通した中枢神経機構が関与していることがわかっている。電磁界が注意力・反応時間に与える影響を調べるため、眼球運動への影響を調べることが重要であると考えた。眼球運動はヒトの行動の中でもとりわけ計測に適しており、年齢ごとの正常値も知られているので、多くの正常被検者で実験を行うことにより、正確な判定を行うことができる。これまで visual guided saccade, memory guided saccade, gap saccade など基本的な眼球運動に関する影響を検討し、電磁界がこれらに影響を与えないことを明らかにしてきた。これらは基本的な眼球運動課題であるため影響が出なかった可能性もあり、より複雑で認知機能の関与が強い課題を用いて電磁界の影響を検討する必要がある。

②研究の目的・概要

本研究では現在の状況を判断し、それに対してある運動を随意的に開始したり抑制したりするという、脳の基本的な認知機能の一つに注目した。antisaccade, cued saccade, overlap saccade 課題は眼球運動の随意的開始や抑制の双方を必要とする眼球運動課題である。これらの眼球運動課題を用いることにより、電磁界へのばく露がターゲットに対する反射的な眼球運動の抑制と、随意的な眼球運動の開始という二つの認知的側面に対して影響を与えるかを調べた。

③研究方法

携帯端末による電磁界のばく露は、第３世代携帯電話端末実機を基地局シミュレータで制御して使用して行った。正常被検者に電磁界ばく露前後、ばく露最中において上述の anti、cued、overlap saccades 課題を行わせ、その反応時間・空間的正確さ・エラー反応の頻度などを計測、電磁界のばく露とシャムばく露で差があるかを検討した。

④研究結果

antisaccade 課題では電波ばく露・シャムばく露の前後で潜時、振幅、速度、方向の誤りの頻度などといった眼球運動のパラメータに有意な変化を認めず、この遂行能力からみる限り、電磁波のばく露の影響はないと考えられた。また cued saccade 課題、overlap saccade 課題についても、電波ばく露・シャムばく露の前後で潜時、振幅、速度、saccade to cue の頻度などといった眼球運動のパラメータについて有意の変化を認めなかった。

⑤結論及び今後の課題について

以上より 30 分間の携帯電話からの電波ばく露は、反射的な眼球運動の抑制と、随意的な眼球運動の開始に関わる神経機構に有意な影響を与えないと考えた。より具体的に言えば、antisaccade 課題、cued saccade 課題、overlap saccade 課題に関わり、なおかつ携帯電話から距離的に近くばく露量も多いと予想される頭頂葉・前頭葉の機能は、これらの課題で見る限り、携帯電話からの電磁波のばく露によって影響されないことを示すことができた。

３.小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査（平成 19～21,22～24 年度）

①研究課題選定の背景

成人の携帯電話端末使用と脳腫瘍の関連性については、我が国も参加して国際共同症例対照研究であるインターフォン研究が実施されるなど、エビデンスの蓄積が進んでいる。一方、小児・若年期の携帯電話端末使用が飛躍的に増加しているが、疫学研究は十分には行われておらず、世界保健機関(WHO)は、小児・若年期の携帯電話端末使用が脳腫瘍の発症に及ぼす潜在的影響を疫学的に調査すべきと勧告している。本研究はそれにも答えるものである。

②研究の目的・概要

小児・若年期に携帯電話端末を使用することが、健康に影響を与える可能性がないかを疫学的手法で検討し、携帯電話端末使用の安全性を確認するのが本研究の目的である。可能性のある健康影響としては、携帯電話端末を使用する際に電磁波ばく露が最大となる脳腫瘍の発症リスクに焦点を当てる。

③研究方法

国際共同症例対照研究である Mobi-Kids 研究に参加すると同時に、小児・若年者が携帯電話端末を使用した際のばく露評価を実施する。また、我が国における小児若年期の携帯電話使用者のコホート研究を実施して、使用状況の地域差、性・年齢による特徴などを経年的に把握する。

④研究結果

Mobi-Kids 研究の症例群（脳腫瘍群）は 18 施設、対照群（虫垂炎群）は 13 施設において症例登録を実施した。登録された症例登録数は、脳腫瘍群 85 例（うち、インタビューを実施したのは 53 例)、虫垂炎 241 例（うち、インタビューを実施したのは 117 例）であった。

10 歳～24 歳の学生 200 人を対象に、Software Modified Phone（SMP）を用いた妥当性調査を実施し、インタビュー調査との一致度を分析した。また、携帯電話端末が発する電磁界についてのばく露評価を実施した。

コホート調査の登録者数は 7,550 人であり、地域別、性・年齢別の携帯電話所有率、使用状況の評価を行った結果、使用は若年化する傾向が認められ、また、都市部で使用率が高い傾向が認められた。

⑤ 結論及び今後の課題について

小児・若年期の携帯電話端末の使用状況、脳腫瘍発症リスクへの影響を分析するための情報収集を実施できた。今後の課題として、スマートフォン等の新しい情報端末の影響を疫学的手法で検討すべきであること、WiFi など、新しい通信技術によるばく露の影響についても研究の推進が必要であることが明らかとなった。

４．2GHz 電波全身ばく露による多世代にわたる脳の発達および機能への影響（平成 19～21 年度）

①研究課題選定の背景

電波ばく露の生体への影響をさらに細かく検討する必要があることから、子供への影響を 3 世代までばく露を行って、その生体への影響を脳の発達や機能を中心として追及することが望まれていた。特に WHO でも子供に対する影響の研究は高いプライオリティーとして位置づけられていて、それに応える必要もあった。

②研究の目的

ラットを用いて妊娠中から電磁波をばく露し、生まれた子にも一定期間全身ばく露を行い、それを 3 世代まで繰り返すことで、子供への健康影響を実験的に追究することを目的としている。

③研究方法

2.14GHz の W-CDMA 方式の電波の全身ばく露を妊娠 SD ラット 7 週目から、出産さらに誕生児の離乳まで、さらに子どもには離乳後６週令までの間１日 20 時間行った。雌児が 11 週令になった時に、同じ週令の雄と交配させ、妊娠を確認した母親と誕生児に同様な全身ばく露を行った。これを 3 世代まで繰り返した。妊娠中の母動物及び児動物の成長、行動機能（オープンフィールド検査）、学習･記憶（モーリス水迷路検査）及び生殖能力への影響を追求した。ばく露レベルは母親あるいは児全身平均 SAR が 0.08W/kg を超えない（低ばく露群）、0.24W/kg を超えない群（高ばく露群）および偽ばく露群の３群を設けた。F1―F3 出生児についてばく露期間中及びばく露期間終了後に各種検査を実施した。F3 ラットについては 10 週令時に屠殺し剖検した。本研究のばく露装置の開発及びばく露量設定のための数値ドシメトリに関する研究を名古屋工業大学、また動物実験は㈱DIMS 医科学研究所にて実施した。

④研究結果

母動物（F0, F1, F2）の一般状態及び体重いずれにおいても異常はみられず、分娩後の母動物の肉眼的病理学検査及び器官重量においても電波ばく露の影響はなかった。さらに、母動物の生殖能力においても電波ばく露の影響はみられなかった。児動物（F1, F2, F3）では、一般状態、体重、4 日生存率、反応性検査、オープンフィールド検査、モーリス水迷路検査、生殖能力検査、肉眼的病理学検査及び器官重量のいずれにおいても、電波ばく露の影響はみられなかった。

⑤結論と今後の課題

3 世代にわたる全身ばく露を行ったが、多世代にわたる発育、脳の発達・機能（行動、学習･記憶）及び生殖機能のいずれに対しても、電波ばく露の影響はみられないと結論した。

５.脳内免疫細胞に及ぼす電波ばく露の影響評価

①研究課題選定の背景

近年目覚ましい普及を果たした携帯電話においては、そこから発せられる高周波電波の生体への影響が関心の的となっている。携帯電話は、現在、最も人体に近接して用いられる電波発生装置であり、その生体、特に脳への影響の評価は急務であると考えられる。脳の機能は、ニューロンに代表される神経伝達をつかさどる神経細胞が中枢を担っているため、ニューロンの機能こそがこれまで研究対象の中心であった。しかし、それら神経細胞の微小循環環境を整え、その支持組織となり、また脳内の免疫機能をつかさどると考えられているグリア細胞は、神経細胞が機能を発揮するにあたり重要な役割を果たしていることが、近年明らかとなってきている。電波のグリア細胞に対する影響は、グリア細胞を主に構成しているミクログリア及びアストロサイトに注目して研究が進められているが、いまだ報告数は少なく、一定の結論に至っていない。

②研究の目的・概要

電波ばく露によるグリア細胞への影響について検討することを目的とした。まず、当時主流であった第二世代携帯端末波による影響について評価するため、1439MHz:TDMA 方式にて、i)ラット脳グリア細胞へ電波が及ぼす短期的影響を評価する実験、ii)ラット脳グリア細胞へ電波が及ぼす長期的影響を評価する実験を行った。また、その後主流となった第三世代携帯端末波による影響について評価するため、iii) 1.95GHz:W-CDMA 方式の電波にて ii)と同様の実験を行った。

③研究方法

i)　脳局所 SAR=2W/Kg 及び 6W/Kg の電波（第二世代携帯電話端末波 TDMA1439MHz）を 120 分間ラット脳に単回ばく露し、グリア細胞（アストロサイト及びミクログリア）の変化を、免疫染色で評価した。

ii)　脳局所 SAR=2W/Kg 及び 6W/Kg の電波（第二世代携帯電話端末波 TDMA1439MHz）を、一日あたり 120 分間、4 日間/週×4 週間の条件でばく露を行い、グリア細胞（アストロサイト及びミクログリア）の変化を、免疫染色で評価した。

iii)　脳局所 SAR=2W/kg 及び 6W/Kg の電波（第三世代携帯電話端末波 W-CDMA1.95GHz）を、一日あたり 120 分間、4 日間/週×4 週間の条件でばく露を行い、グリア細胞（アストロサイト及びミクログリア）の変化を、免疫染色で評価した。

④研究結果

i)および ii)にて、1439MHz-TDMA 方式の電波への単回ばく露および長期ばく露によるラットの脳グリア細胞への明らかな影響は認められなかった。同様に iii)にて、1.95GHz:W-CDMA 方式の電波への長期ばく露によるラットの脳グリア細胞への明らかな影響は認められなかった。

⑤結論及び今後の課題について

今回設定した限定的な条件下では、「電磁波防護指針」で策定される一般環境規制値である、局所 SAR=2W/kg を上回る値における電波の長期ばく露にて、ラット脳のグリア細胞への明らかな影響は認められなかった。

今後の検討における課題として、長期ばく露検討に際するばく露期間を本実験では 4 週間と設定したが、これはまだコンセンサスが得られたものではなく、今後、さまざまなばく露条件で、更なる検討を要すると考える。また、今回はグリア細胞への影響を免疫染色での変化として評価したが、組織の評価は単に形態学だけでなく機能面も評価する必要があり、そのためには、グリア細胞の関わるサイトカインなどを介した、細胞間の相互作用も検討対象となりうると考えられた。

６.電波の細胞生物学的影響評価と機構解析

①研究課題選定の背景

生体影響評価の中でも、細胞生物学的影響評価は、国際的にも盛んに行われている。特に、変異原性やがんの誘発に結びつくと考えられている細胞生物学的指標（遺伝毒性の指標）について検討されている。一方、電波が細胞の諸機能へ影響を与えている可能性として、特にストレスタンパクの発現に関して大きな関心事となっている。本研究は、このストレスタンパクとして代表的な熱ショックタンパク（HSP）発現やヒトの遺伝子解析など、高周波ばく露の細胞生物学的影響評価と機構解析を行い電波の影響について、細胞研究成果の基礎資料となる。

②研究の目的

（１）電波による HSP 発現に関する研究

電波が細胞へのストレスとして HSP 発現に影響を与えているかどうかについて調べる。

（２）電波ばく露によるヒト細胞の未知遺伝子への影響に関する研究

電波がヒトの未知遺伝子へ影響を及ぼしていないか検索する目的で、ヒト遺伝子の発現検索をマイクロアレー法にて実施し、特定発現遺伝子の有無を調べる。

③研究方法

（１）電波による HSP 発現に関する研究

低い SAR（2W/kg 以下）での電波（2.45GHz）がヒト由来 A172 細胞へのストレスとして HSP 発現に影響を与えているかどうかについて細胞レベルで研究を実施する。

（２）電波曝露によるヒト細胞の未知遺伝子への影響に関する研究

ヒト由来 SVGp12 細胞を用いて、電波をばく露（周波数：2.45GHz、SAR：1、5、10W/kg）し、ヒト遺伝子の発現検索をマイクロアレー法にて実施し、特定発現遺伝子の有無を調べる。

④研究結果

Western Blotting 法と免疫染色法により検討したが、HSP 発現量については、非熱的高周波による影響は認められなかった。

本研究で検討したばく露条件下では、発現量が変動している遺伝子の数は非常に少なく、2 倍以上増加または 2 分の 1 以下に減少した遺伝子は認められなかった。このことから、低出力電波によって遺伝子の発現が変動する可能性は小さいと考えられる。ただ、遺伝子の変動幅を 1.4 倍以上増加または 1.4 分の 1 以下の減少まで緩めて評価したところ、ばく露条件によって 1 から 5 個の遺伝子が有意に変動している可能性のある遺伝子として抽出された。抽出された遺伝子は、ほとんどが現在のところ機能が特定されていない遺伝子であった。

⑤結論および今後の課題について

電波による HSP 発現に関して、HSP70、27、p-27 発現量への有意な影響は認められなかった。この結果から、高周波による HSP 発現への影響は無いか、極めて小さいものと考えられる。一方、電波ばく露研究によるヒト細胞の未知遺伝子への影響に関しては、2 倍以上増加または 2 分の 1 以下に減少した遺伝子は認められなかった。このことから、低出力電波によって遺伝子の発現が変動する可能性は小さいと考えられる。ただ、変動幅を 1.4 倍まで緩めて評価した場合、共通に変動している遺伝子は非常に少数ではあるが確認された。これらは、ほとんどが現在のところ機能が特定されていない遺伝子であった。今後、解析方法の変更などにより、さらに発現量変動候補遺伝子のサーベイを行う必要があると考える。

７.ミリ波帯細胞用ばく露装置と物理的環境の検索

①研究課題選定の背景

ミリ波帯の電波利用が日常生活に広まる趨勢の中で、この周波数帯の電波の生体影響に関する実験的なデータは不十分である。メカニズムに踏み込むには、細胞レベルでの実験研究が適しているが、波長が短く、生体組織への侵入深さが小さいミリ波帯電波に適した細胞用ばく露装置はほとんど前例がなく、ばく露評価を行う技術も未開拓である。

②研究の目的・概要

早期に実用化が期待される６０ＧＨｚ帯電波の細胞用ばく露装置及びミリ波固有の特性を踏まえたばく露評価法を開発する。数値解析に必要な、ミリ波帯における電気定数の測定法を開発する。以上を踏まえてばく露装置を構築し、数値解析及び実験によりばく露評価を行う。開発したばく露装置を用いた細胞実験の実施可能性検証する細胞実験を行う。これらの成果を、医学生物学分野の研究者が発展的な実験研究を行うための手段として提供する

③研究方法

円錐ホーンアンテナを用いて培養容器底面から６０ＧＨｚ帯のミリ波電波を照射する装置を基本構成とし、時間領域差分（ＦＤＴＤ）法による数値解析及び熱解析を行い、細胞用ばく露装置の設計を行う。制作したばく露装置を用い、ミリ波照射実験により得られた温度上昇分布と解析結果を比較することにより、数値解析の妥当性を検証する。上記で必要とされる実験的ドシメトリの方法として、ミリ波のエネルギーは表面で集中的に吸収されるので、従来の温度分布測定法は適さないため、新たな手法として、感温液晶マイクロカプセルを用いた高空間分解能の温度分布測定法を新たに開発する。

④研究結果

開発したばく露装置を用いて、細胞ばく露実験を行い、６０ＧＨｚのミリ波による細胞への影響について検討を行った。アンテナ入力電力を０．５，１．０，２Ｗ（入力電力１Ｗあたりの培地底面での平均ＳＡＲは２．２ｋＷ／ｇ）として、1 分間および 6 分間のばく露を行ったが、細胞の増殖速度については、２Ｗで６分間ばく露した場合に、有意に倍加時間の増加、すなわち、増殖速度の減少がみられた。また、熱ショックタンパクＨｓｐ７０遺伝子の発現については、１Ｗおよび２Ｗ入力で６分間ばく露した場合に、ばく露の強さに依存して発現量の増加がみられた。熱解析の結果から、これらの変化は、いずれも細胞の置かれた培地底面における温度上昇による影響として説明できることが示された。また、非熱的条件と見なすことができる、0.5W 入力のばく露では変化がなく、実験を行った範囲では、非熱的な影響は見いだされなかった。

⑤結論及び今後の課題について

６０ＧＨｚのミリ波帯電波の細胞用ばく露装置を開発し、ばく露量、温度が統制された条件で再現性の実験を行う手段を確立した。開発の過程で、生体組織のミリ波帯における電気定数測定、高空間分解能の温度分布測定手法についても新たな成果を得た。本装置を用いて、医学生物学研究者との協力の下で、さらなる細胞実験を行うことが今後の課題である。

８．小児に対する人体全身平均 SAR と体内深部温度上昇の特性評価

①研究課題選定の背景

2006 年に発表された世界保健機関による電波に対する最優先課題として、小児の熱調整系を考慮に入れた熱ドシメトリが挙げられていた。電波ばく露に対する全身平均 SAR と体内深部温度上昇を詳細に検討した事例はなく、特に、幼児の熱調整系については不明な点が多かったため、関心が持たれていた。

②研究の目的・概要

電波を小児に照射した際の全身平均 SAR と温度上昇の定量関係を明らかにすることを目的とし、まず、数値解析における不確定性の検証をおこなった。また、構築した複数の数値小児モデルに対して全身平均 SAR 及び温度上昇を定量化、加えて両者を決定づける要因について検討した。

③研究方法

これまでに開発されていた数値人体モデルにスケーリングを加えることにより、複数の乳幼児モデルを構築した。また，複数の研究機関で人体全身平均 SAR の相互比較をおこなうことにより，解析における終端条件による数値不確定性や電気定数の割り当てによるばらつきを検討した。特に，電気定数の測定をおこない，これまで用いられていた値を検証した。さらに、過去の文献調査に基づき、小児の熱調整機能を推定、詳細な人体モデルを用いた熱解析に組み込み、体内深部温度上昇の解析をおこなった。

④研究の結果と結論

SAR の解析において、終端条件によりどの程度の変化があるかを評価するとともに、定めた条件に対して数値ドシメトリを実施した。特に、人体モデルに対して過大評価できる簡易形状均質モデルを提案、実験における全身平均 SAR の推定可能性を示した。体内総水分量を考慮することにより決定した電気定数に対する乳幼児の全身平均 SAR は、成人の電気定数を用いた場合よりも小さく、年齢が低いほど顕著になることがわかった。さらに、既存の報告より小児の熱調整機能を推定し、これを熱解析に組み込んだ解析の結果、乳幼児は体重に対する体表面積が大きいため、成人に比べ体内深部温度上昇は小さいことが示された。結局、一定の電磁界強度に対するばく露に対し、乳幼児の全身平均 SAR は成人よりやや高くなる傾向にあるが、一方、成人と体形が異なるため、外気により冷却されやすく、ゆえに小児の全身平均 SAR が高くとも、体内深部温度上昇は小さくなるとの結論が得られた。

⑤今後の課題

ICNIRP ガイドライン 2010 では、ガイドラインは人口の 90%をカバーすることが示されているが、わが国を始めとする世界的な高齢化に伴い、高齢者に対する検討はなされていない。特に、高齢者の熱調整機能は若者に比べて劣化することが知られており、その機能を推定、さらにはその知見を大規模計算に組み込んだ全身平均 SAR と温度上昇との関係推定が今後に残された課題となる。

９．「実験に基づく電磁界強度指針の妥当性評価及び確認」

①研究課題選定の背景

電波防護指針における管理指針は、基礎指針に対応する測定可能な物理量で定められており、電磁界強度指針や局所吸収指針などから構成される。電磁界強度指針は基礎指針から計算で導出されている。近年の無線機器の利用範囲拡大に伴い、その精度を高めるため高精細な人体モデルを用いた全身平均 SAR（Specific Absorption Rate、比吸収率）の数値計算は国内外の研究機関で多く行われている。一方、それら計算推定を裏付けるための実験検証については実施の難易度が高いため十分なデータが得られている状況にはなく、高精度な実験評価が求められていた。

②研究の目的・概要

基礎指針を基とした電磁界強度指針の妥当性について、電波ばく露における全身平均 SAR を実験的に評価する手法を確立し、個体差や姿勢の違いによる影響について定量的に評価および確認することを目的とした。人体によく近似したファントムを用いて、年齢、姿勢などの影響も考慮した全身平均 SAR の実験測定を実施する。取得した実験データは、計算推定結果の信頼性を確認するための裏づけとなり、さらに、指針値の妥当性確認への寄与が期待される。

③研究方法

電波波源および人体を含む空間から外部へ放射される電力を円筒走査法により網羅的に測定することで、全身平均 SAR を測定する方法を新たに提案した。全身平均 SAR は、人体が吸収した電力の総和を全身で平均化した比吸収率（組織の単位質量当たりの吸収電力）である。したがって、人体以外に損失媒体の存在しない系に入射する電力および系の外部へ放射される電力を高精度に測定することで、全身人体の吸収電力が算出できる。1/2 スケールモデルを適用した高精度な数値人体データに基づく物理ファントムと平面波照射装置を製作し、提案した測定系を構築した（下図）。欧州および日本で開発された数値人体モデルを用い、姿勢や寸法の変更を考慮した全身平均 SAR の測定を実施した。

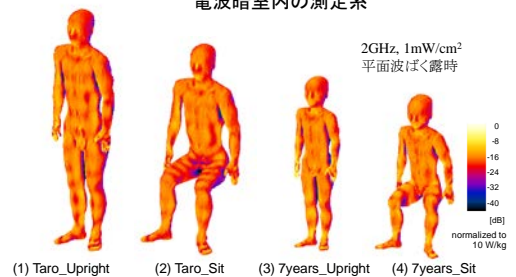
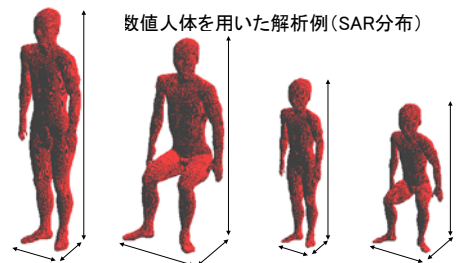
④研究結果

国内外の研究機関で多くの計算推定に用いられている数値人体を再現した成人男性および小児モデルの物理ファントムを用いて全身平均 SAR の測定を実施した。評価対象周波数は 2GHz とし、非接地条件での平面波（垂直偏波）ばく露時における全身平均 SAR を評価した。測定により得られた全身平均 SAR については、国内外の研究機関によってなされている計算推定結果とほぼ一致したものであることを確認した。

電波暗室内の測定系

数値人体を用いた解析例（SAR分布）

⑤結論及び今後の課題

これら数値人体モデルにおける全身平均 SAR の実験データを取得したのは本研究が最初である。得られた全身平均 SAR の測定値は、計算推定の正しさを裏付けるための有用なデータとなった。今後、身体の一部に骨治療用プレートや心臓ペースメーカ等の金属を埋め込んだ人体、あるいは肥満等の個体差考慮等、多様な人体モデルの全身平均 SAR の測定データ取得が期待される。

１０.電波の人体への安全性に関する評価技術

①研究課題選定の背景

世界保健機関(WHO)等の国際機関では、現状の国際的なガイドラインの妥当性を認めつつ、近年の電波利用技術のより一層の普及状況を考慮し、国際的なガイドラインの信頼性をより強固とするための更なる研究の必要性を勧告しており、我が国の生体電磁環境研究推進委員会がとりまとめた最終報告書(平成 19 年 4 月)においても、今後も科学的データの信頼性の向上を図り、電波の安全性評価に関する研究を進めていくことが重要であるとしている。また、電波防護指針が対象とする様々な電波ばく露条件のうちの一部については未だ国際的に適合性確認方法が確立しておらず、今後の周波数利用拡大に向けた適切な電波防護規制の導入が困難となっている。

②研究の目的・概要

前項の課題に対応するため、本研究では、実際の無線局から発射されている電波の強さが電波防護指針値以下であることを確認する技術の確立、電波が生体に与える影響を明らかにするための生物実験用ばく露装置等の開発、改良及び保守をすることを目的とする。

本研究では､「ア　人体の電波ばく露量評価技術｣､「イ　電波防護指針適合性評価技術｣､「ウ　医学・生物実験のためのばく露装置及びばく露評価」に関する調査検討を実施する。

③研究方法

（１）人体の電波ばく露量評価技術

数値人体モデル等を用いた「理論・数値解析による評価方法」による検討と生体組織の電気定数測定や中間周波数帯電波利用システム周辺の電磁界測定技術等の「実験測定による評価補法」について検討を行う。

（２）電波防護指針適合性評価技術

携帯電話端末等の電波防護指針適合性評価のための頭部ＳＡＲ測定システムの不確かさについての検討、ＳＡＲ測定用プローブの較正手法についての検討、第三世代携帯電話基地局周辺の電磁界測定手法についての検討を行い、国際標準化会議に寄与する。

（３）医学・生物実験のためのばく露装置及びばく露評価

電波防護指針の根拠を再確認するための動物実験用ばく露装置、細胞実験用ばく露装、被験者実験用ばく露装置の開発・改良・保守を行う。また、疫学調査のためのばく露評価手法についての検討も行う。

④研究結果

（１）人体の電波ばく露量評価技術

１）理論・数値解析による評価方法

医療機関の協力を得て、日本人の小児（3 歳児、5 歳児、7 歳児）の MRI 画像を取得し、MRI 画像を基に解像度 2mm のブロックで構成された数値人体モデルを構築した。これらのモデルは約 50 種類の組織から構成されている。これらのモデルの体型を計測し、ほぼ日本人の各年齢の平均値に近いことを確認した（下表）。

	日本人平均身長	日本人平均体重	モデル身長	モデル体重
3歳児	96.7 cm	14.3 kg	94.0 cm	14.0 kg
5歳児	109.1 cm	18.5 kg	113.0 cm	18.5 kg
7歳児	121.8 cm	24.2 kg	117.5 cm	21.3 kg

大規模数値計算環境を構築し、これまでに開発した数値人体モデルを用いて、様々な電波ばく露条件における人体ばく露量の数値シミュレーションを実施した。

２）実験測定による評価方法

約５０種類の生体組織・試料の電気定数を測定し、温度依存性等も明らかにした。RFID/EAS システム等の測定のための小型磁界センサ測定システムを構築した。VHF/UHF 帯における全身平均ＳＡＲ測定手法について検討した。

（２）電波防護指針適合性評価技術

高周波数帯におけるSAR測定の主要な不確かさ要因の一つである境界効果等について検討し、IEC国際標準化会議に寄与した。また、3-6GHz 帯における従来の SAR プローブ較正方法（導波管）の不確かさ評価や、国内外の計測機関との相互比較実験を実施した。さらに、第三世代携帯電話で使用されている広帯域変調信号の測定を可能とする電磁界測定システムを構築した。

（３）医学・生物実験のためのばく露装置及びばく露評価

「脳内免疫細胞におよぼす電波ばく露の影響評価」・「複数電波ばく露による電波複合ばく露の生体への影響」・「2GHz 帯電波の多世代ばく露の影響評価」・「頭部局所電波ばく露の及ぼす生体影響評価とその閾値の検索」・「ミリ波、準ミリ波帯電波の眼部ばく露による影響の指針値妥当性の再検討」のための動物実験用ばく露装置の開発・改良・保守を行った。また、「電波の細胞生物学的影響評価と機構解析」および「免疫細胞及び神経膠細胞を対象としたマイクロ波照射影響に関する実験評価」のための培養細胞電波ばく露装置（円形導波管）の保守（現地での調整・確認作業）を行なった。さらに、「携帯電話端末からの電波による症状に関する研究」のためのヒト被験者への電波ばく露装置（携帯電話端末、保持具および制御システム）の保守を行なった。

「小児・若年期における携帯電話端末使用と健康に関する疫学調査」のための携帯電話利用データ収集システムの保守および電波発射レベルモニター用特殊端末の開発等を行なった。

⑤結論および今後の課題

電波の安全性を評価するための人体内の電波吸収量を計測する技術、携帯電話等が電波防護指針に適合することを確認するための技術、電波による健康影響を確認するための医学・生物研究のためのばく露量評価やばく露装置開発を行った。開発した技術は、国際標準化や国内規制に反映されているとともに、数値人体モデルのように他の研究分野でも活用が期待されている成果が得られた。

今後も電波利用技術の進展に伴い、関連評価技術の研究開発を進め、適宜国際標準化や国内規制導入を円滑に進めていく必要がある。

１１．ミリ波、準ミリ波帯電波の眼部ばく露による影響の指針値妥当性の再評価（平成 19～22 年度）

①研究課題選定の背景

ミリ波帯は比較的短距離での無線アクセス通信や画像伝送システム、簡易無線、自動車衝突防止レーダー等に利用されている。

わが国の電波防護指針の根拠となっている Rosenthal らの報告[1976 年]では、35 と 107 GHz ばく露による家兎眼障害の程度に差があることを指摘している。

②研究の目的・概要

ミリ波・準ミリ波帯（18-40 GHz）での波長周波数特異性の存在有無の検討および日常生活圏内で使用され始めている周波数帯（60、75 GHz）では防護指針値の妥当性を評価した。

③研究方法

①：18-40 GHz の周波数に関しては、眼組織内に設置した温度計により、電波ばく露中（ホーンアンテナ）の眼内温度上昇を指標に周波数特異性を検討した。また、②：60、75 GHz ではレンズアンテナを介して、家兎眼にばく露し、眼障害発生の有無を指標に防護指針値の妥当性を検討した。

④研究結果

①：18、22、26.5、35、40GHz の家兎眼ばく露による角膜温度上昇には周波数特性があり、同一の入射電力密度であっても、40>35>26.5≥22>18 の順に高い温度上昇を示した。また、40GHz ばく露は 18GHz に比べて 2 倍程度高い眼表面温度上昇を誘発した。

②：60　または 75 GHz、300 mW/cm^{2}で 6 分ばく露で認められる角膜上皮障害、虹彩・毛様体炎は、ばく露量を低下させることにより、眼障害の軽減化を認め、60 GHz では 100 mW/cm^2、75 GHz では 50 mW/cm^{2}で、前述の眼障害は消失した。以上より、60 と 75 GHz を比較すると 75 GHz の方が 60 GHz より同一入射電力であっても強い眼障害を示すことが明らかとなった。

⑤結論及び今後の課題について

準ミリ波帯、ミリ波帯の高強度の電波ばく露は、実験家兎眼で吸収・発熱する。18-40 GHz では周波数が高いほど、入射電力は同一であっても、眼内での発熱は高温になる。高強度のミリ波ばく露は角膜上皮障害等の障害を及ぼすが、防護指針値のばく露量では眼障害を生じないことが示された。

今後の課題として、我が国の値は 3－300GHz の範囲であるので、75 GHz 以上の検討が必要である。また、我が国の防護指針値のばく露条件は 6 分間平均であるが、他の国際ガイドラインでは入射電力密度についてはほぼ同一の数値であるのに対し、照射面積および時間については十分に統一されていない。眼障害の閾値検索および時間依存性の検討が必要である。

１２．頭部局所ばく露の及ぼす生体影響評価とその閾値の検索

①研究課題選定の背景

電波による人体への影響は主に電力吸収により生ずる加熱作用とされ、その評価量として SAR（Specific Absorption Rate（比吸収率）[W/kg]）が用いられている。この SAR は全身と局所を対象としてそれぞれ区分されているが、平均 SAR と体内温度上昇の相関性に関する生物学的知見およびその検証は、全身ばく露については蓄積があるものの局所ばく露については十分とは言い難い。

②研究の目的・概要

本研究では、局所電波ばく露量と生体変化（体内温度および局所脳血流）との関係性を、動物実験だけでなく最新の工学的解析手法も取り入れ解明することを目的とした。

③研究方法

実験動物のラット頭部に電波（1.5 および 2.0 GHz）を局所ばく露しながら全身および局所温度、局所脳血流を経時的に記録した。得られたデータを用いて局所ばく露量と生体指標変化との関係を調べるとともに、工学的手法を用いて脳血流の温度依存性についてモデル化を行った。

④研究結果

生物学的実験の結果、脳局所電波ばく露（2 GHz）は、ばく露量増加に伴い脳局所温度および局所脳血流の上昇を惹起した。また、ばく露量と脳局所温度、ばく露量と脳表血流量との間にはそれぞれ相関関係が認められ、局所脳血流増加は局所電波ばく露により惹起された脳局所温度上昇に起因している可能性が示唆された。

一方、工学的解析手法を用いた実験では、ラットの局所脳血流の温度依存性についてモデル化を行った結果、局所脳血流は直腸温度だけでなく脳表温度上昇に依存することが示唆された。さらに、上記血流モデルを組み込んだ体内温度上昇の計算機シミュレーションを行ったところ、局所 SAR 変化に対する脳表温度上昇は動物実験から得られた実測値との比較において、測定位置による不確定性の考慮を含め十分一致する結果を得た。

⑤結論及び今後の課題について

生物学的および工学的検討の結果、局所脳血流増加は局所電波ばく露により惹起された脳局所温度上昇に起因している可能性が示唆された。今後、生体影響惹起の作用機序をさらに解明していくと共に、低出力ばく露領域に対する生体影響の可能性についても検討を進める必要がある。

１３.成人の携帯電話使用者の追跡調査研究

①研究課題選定の背景

成人の携帯電話使用と脳腫瘍罹患リスクとの関連については、INTERPHONE 研究をはじめとする症例対照デザインによって、疫学的にリスクの有意な上昇が報告された。しかしながらその解釈に際し、過去の携帯電話使用を想い出し（recall）によらなければならないという方法論上の制約により、リスクの過大評価が起こった可能性が否定できないことが、多くの専門家から指摘されてきた。これに対し欧州では、こうした recall bias の起こりにくい追跡型の研究デザインであるコホート研究の実施が検討されていたことから、わが国においても、実施可能性を検討する必要があると考えられた。

②研究の目的・概要

わが国において、成人の携帯電話使用と脳腫瘍等の脳疾患の罹患リスクとの関連性を検討することを目的としたコホート研究のデザインと実施可能性について検討した。

③研究方法

統計学的手法により、期待される結果を得るために必要なサンプルサイズの推計を行い、推計された必要数をリクルートしうるかどうかのフィージビリティ研究を実施した。

④研究結果

主たるエンドポイントである脳腫瘍は、罹患率が低いため、統計学的にサンプルサイズの計算を行うと、コホート研究を行うには、少なくとも数万人単位以上のコホート（集団）を 5 年以上の期間にわたり追跡する必要性があることが明らかになった。よって、これを実現するためには、調査に情報を提供してくれる調査協力者のリクルートと確実な追跡方法の確立が重要なポイントになるものと考えられた。

このため、その内のひとつである調査協力者のリクルート方法として、最も望ましいと考えられるランダムサンプリングについての応諾率を見るパイロット研究を行った。住民基本台帳からランダムサンプリングした 2,989 人に調査票を送付した結果、返送率は 15.8%（471 件）、コホート調査への参加意向を示した者は調査対象者全体の 4.7%（140 件）であった。

⑤結論及び今後の課題について

罹患率から、仮に 5 万人のコホート研究を実施しようとすると、参加意向率から 100 万人を対象にリクルートを行わねばならないということであり、費用・労力の点から、わが国でのコホート研究の実施可能性は低いものと考えられた。

１４.複数の電波ばく露による電波複合ばく露の生体への影響

①研究課題選定の背景

近年の無線通信技術の飛躍的進歩に伴い、携帯電話、無線LAN、ディジタルテレビなどは爆発的に普及する一方、これらの利用者の急増に伴い、基地局の設置が急増し、基地局からの電波が引き起こす人体影響に関する国民の関心が高まっている。これらの通信システムはそれぞれ異なる周波数の電波を利用しており、また、無線通信の多様化に伴い、超広帯域の周波数帯域幅を用いた通信方式も出現している。このような複雑化しつつある電波環境に対して、従来の動物へのばく露実験においては波源が一つであり、また対象とする電波の周波数帯域も狭いものであった。これでは現実的なばく露条件とは言い難く、更なる研究の推進と同時に長期的な電波ばく露に対する動物実験が必要であった。

②研究の目的・概要

本研究は、このような動物実験を行うにあたり、広帯域電波ばく露条件を検討するための基礎として、以下に示す諸項目の課題を検討した。

（１）人体および動物組織に対する電気定数の超広帯域モデル化

（２）広帯域・複数波源からのばく露に対する数値電磁ドシメトリ

（３）広帯域・複数波源からのばく露に対する数値熱ドシメトリ

（４）複数波源を模擬可能なばく露条件の検討

③研究の方法と結果・結論

平成20年度においては､項目(1)について､Gabriel の実測データを下に電磁界解析ツールのFDTD 法に組み込み可能なデバイモデルに基づく分散媒質の定式化を示し、その実装を行った。この結果、デバイモデルによる定式化ではCole-Cole の式に比べて20 %程度の差異はみられるものの、概ね電気定数をモデル化できることが示された。項目(2)では、項目(1)で実装した解析手法の有効性を検討するために、帯電人体が金属棒を介して接地金属板へ接触する状況を模擬した系を考え、数値シミュレーションと実験との比較を行った。その結果、提案した定式化により得られた結果は概ね実験結果と一致することが示された。項目(3)では、超広帯域パルスを1 次元生体モデルに照射した際の温度上昇の時間変化を検討した。その結果、熱時定数は電波パルスの時間幅に極めて十分長いため、時間的な平均値を用いても十分であろうと推察可能な結果が得られた。項目(4)のばく露条件に関しては、当初、国際会議に出席した上で調査を実施する予定であったものの、関連発表は理想化された条件下での数値ドシメトリに限定され、ばく露条件を定めたものは皆無であった。これは、複数・広帯域（あるいは多周波）のばく露条件での解析例が十分ではなく、それ故にばく露装置の設計・条件設定まで至っていないのが実情であったと推察する。

平成21 年度では、広い周波数帯に亘って、周波数による体内深部温度へ与える影響を評価した。その結果、FDTD 法による詳細な計算結果との比較により、全身平均SAR が同じであれば、簡易推定式で得られた結果は GHz 帯でも実用上問題ないことが示され、複数波を入射した場合にもその傾向は変わらないことが確認された。つぎに、超広帯域電磁界に対する人体組織の数値モデル化の妥当性検証のための実験として、帯電人体に発生する接触電流を測定し、解析結果と比較することにより、モデルの有効性が再確認された。最後に、動物実験を遂行する際のばく露条件を検討し、想定される周波数を小動物に照射した際の SAR に対応する温度上昇に関する基礎検討を行った。ラット全身ばく露に対する深部温度の測定結果がないため、家兎の実験結果との対比からその有効性を検討した結果、小動物に対しては、熱調整系が動作しないと仮定した簡易推定式が有効であることが示された。

④今後の課題

今後の課題は、本研究で得られた基礎的な知見をベースに、複数波源を模擬可能な具体的なばく露条件を同定することである。

１５.免疫細胞及び神経膠細胞を対象としたマイクロ波照射影響に関する実験評価

①研究課題選定の背景

免疫細胞や神経膠細胞に対する電波の影響の有無を解析・評価することは、2011 年に行われる IARC の発がん性評価やその後に行われる WHO の EHC における基礎資料となる。

②研究の目的

免疫細胞の基本的な機能であるサイトカイン分泌特性、及び脳内免疫細胞として重要な役割を果たすことが知られている神経膠細胞に対して、基本的な機能である IFN-γに対する応答への影響について検索し、電波ばく露影響の有無を検討する。

③研究方法

2.45GHz の周波数、2 および 10W/kg の SAR で電波ばく露を行い、免疫細胞の基本的な機能であるサイトカイン分泌特性に対して ELISA 法を実施し、電波が影響を与えないかどうかについて検討する。さらに、同じばく露条件で神経膠細胞の基本的な機能である IFN-γに対する応答について、電波ばく露の影響の有無を検討する。

④研究結果

ヒトリンパ腫由来単芽球様 U937 細胞を用いて、免疫細胞から産生されるサイトカイン、IL-1β、IL-6、IL-8、IL-10、TNF-αの量を ELISA 法によって検討した。U937 細胞をマクロファージ分化誘導後、LPS 刺激をすると同時に電波ばく露（SAR 2 および 10W/kg、4 および 24 時間）する、あるいは電波ばく露（SAR 2 および 10W/kg、4 時間）を行った後に LPS 刺激をした。その結果、2.45GHz、SAR が 2 および 10W/kg、4 および 24 時間のばく露は、分化誘導 U937 細胞から産生される IL-1β、IL-6、IL-8、IL-10、TNF-αのサイトカイン量に有意な影響を及ぼさなかった。

マウス由来ミクログリア EOC20 細胞を用いて、IFN-γ刺激に対する応答に電波ばく露が及ぼす影響について、CIITA、NOS2、Ly6c1 遺伝子の発現量変化を逆転写-PCR を用いて、MHC classII と F4/80 抗原の発現量についてフローサイトメーターを用いて検討した。その結果、2.45GHz、SAR が 2 および 10W/kg、4 時間のばく露は、EOC20 細胞の IFN-γ刺激に対する応答に、統計学的に有意な影響を及ぼさなかった。

⑤結論および今後の課題について

ヒトリンパ腫由来単芽球様 U937 細胞は電波ばく露中及び電波ばく露後の LPS 刺激に応答して IL-1β、IL-6、IL-8、IL-10、TNF-αのサイトカインを分泌することが確認されたが、これらのサイトカイン分泌量に電波ばく露は統計学的に有意な影響を及ぼしていないと考えられる。

マウス由来ミクログリア EOC20 細胞が IFN-γ刺激に応答して、CIITA、NOS2、Ly6c1 遺伝子の発現量が有意に増加することが確認されたが、この有意な遺伝子発現の増加に、IFN-γ刺激前の電波ばく露（SAR 2 および 10W/kg、4 時間）は、統計学的に有意な影響を及ぼしていないと考えられる。

MHC class II の発現量は IFN-γ刺激によって増加することが確認できたが、この有意な発現増加に、IFN-γ刺激前の電波ばく露（SAR 2 および 10W/kg、4 時間）は、統計学的に有意な影響を及ぼしていないと考えられる。また、F4/80 抗原の発現量が IFN-γ刺激によって変化しない発現パターンも、電波ばく露（SAR 2 および 10W/kg、4 時間）によって統計学的に有意な影響を受けていないと考えられる。今後、他の免疫応答として、例えば、好中球の遊走能や貪食能への電波の影響について検討する必要がある。

１６. 携帯電話端末からの電波の睡眠に対する影響

①研究課題選定の背景

睡眠は人間の生活時間の約 30%を占め、ヒトの学習や記憶などの認知機能に重要な役割を果たしている。携帯電話の睡眠に与える研究の必要性が高まっており、この点は WHO も強調しているとおりである。過去に行われた睡眠時脳波記録（ポリソムノグラム）による研究は、睡眠構築またはパワースペクトラムに影響を及ぼしたとしている。睡眠構築に与える影響としては、急速眼球運動（REM）を伴う睡眠量の減少、REM 潜時の短縮、睡眠導入遅延、睡眠導入の早まり、深睡眠の時間短縮などがある。パワースペクトラムに与える影響としては、α帯域の変化、β帯域の変化、あるいは、脳深部組織と関連の高い紡錘波の変化などがある。しかし、これらの研究結果は一貫していない。紡錘波の検証に至っては、紡錘波を含む周波数帯域全体のパワースペクトラム解析を行っており、その解析手法に問題がある。以上の背景を踏まえ、日本で用いられている携帯電話を用い、ヒトの睡眠に与える影響を科学的に的確な手法で解析する必要性があると考えられた。

②研究の目的・概要

本研究の目的は、上述の背景をふまえ、携帯電話の使用が睡眠脳波に与える影響を科学的に検証することである。睡眠前に携帯電話を使用することが睡眠にどのような影響を与えるかという点を明らかにするために、睡眠脳波を携帯電話使用後の睡眠と無使用の睡眠とで比較検討した。

③研究方法

（１）web 会社に委託し、首都圏在住の 20-59 際男女 10,220 人を対象として、携帯電話の使用状況、健康状態、睡眠状態（睡眠スケール：ESS, PSQI-J)、日常生活状況に関するアンケート調査を行った。この調査集団に対し、本研究に適した 20-39 歳の健康で睡眠障害を有さず、規則正しい生活リズムの成人被験者を一般公募した。

（２）最終的な解析人数は 19 人である。連続 3 日間の睡眠脳波測定実験に参加して頂いた。電磁波曝露には、左耳に装着した市販の第 3 世代端末を用いた。3 時間の電磁波曝露を行い、被験者の自己申告に基づく平均的な就寝時間（曝露開始から 5 時間後）に就寝し、平均的な起床時間に起床して頂き、睡眠中のポリソムノグラムを記録した。起床時に自記式アンケートを施行し、自覚症状（眠気・熟眠感や気分）を Stanford Sleepiness Scale（SSS）および visual analogue scale（VAS）で数値化した。ポリソムノグラムでは、睡眠構築（stage W, N1, N2, N3, REM の割合)、パワースペクトラム解析（stage W および N2 の、F3/F4、C3/C4、01/02 の周波数帯域（δ、θ、α、β）の割合を計測した。また、紡錘波の周波数解析（11～16Hz）も行った。これらの結果に、実曝露と偽曝露に差があるか否かを検証した。

④研究結果

（１）携帯電話使用時間の中央値は 10 分（25%および 75%タイルは、それぞれ 3 分および 10 分）であり、全体の 90%が 1 時間未満であった。

（２）実曝露と偽曝露の翌朝の自覚症状に有意差はなかった。睡眠構築およびパワースペクトラムにも有意差はなかった。

⑤結論及び今後の課題について

携帯電話からの電磁波が睡眠に影響すると言うことを支持する結果は得られなかった。

１７.電磁波のラット胎児造血器への影響評価

①研究課題選定の背景

携帯電話の電磁波による人体への影響の特に、胎児や子供に関する携帯電話の影響に関しては社会的関心が高い。2006 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields によれば、早急に検討すべき動物実験のひとつとして、未発達な動物に対する電磁波の影響、特に造血器や免疫に関しての影響評価を検討すべきとされている。

②研究の目的・概要

本研究の目的は、携帯電話から発せられる電波がラット胎児造血器に影響を及ぼすかを明らかにすることである。

③研究方法

全身ばく露装置（曝露ボックス、アンテナ、換気系、制御ソフトウェア、ばく露量モニタリング系）を用いて、10週齢の妊娠したSprague-Dawley（SD）ラット（日本チャールス・リバー株式会社）の全身被ばく実験を行った。深麻酔下に心腔採血にて末梢血を採取し、血球計算機を用いて、末梢血の分画(白血球数、赤血球数、血小板数)を測定、評価した。また、骨髄細胞からFACS(fluorescence activated cell sorter)を用いて、造血幹細胞を同定し、正常ラットと比較検討した。

④研究結果

（１）平成22年度は、19日齢の産子ラットより採血を行い、末梢血分画計測の方法やFlow cytometryを用いた骨髄造血幹細胞の評価方法を確立した。既存の頭部ばく露装置を用いて妊娠16日目のラットに脳平均SAR 2W/kg, 6W/kgのW-CDMA方式の電磁波ばく露を90分間行ったが、胎児の造血器への影響は認めなかった。

（２）平成23年度は、妊娠8日～20日目までの短期間においてラットに「電磁波防護指針」の一般環境規制値である全身平均SAR 0.08 W/kgの電磁波に1日20時間ばく露し、胎児の造血器への影響を認めないことを確認した。

（３）平成24年度は、妊娠8日～22日目及び産子ラット0日～18日目までの長期にわたり「電磁波防護指針」の一般環境規制値を上回る全身平均SAR0.20W/kgの電磁波に1日20時間ばく露し、胎児の造血器への影響を認めないことを確認した。

⑤結論及び今後の課題

「電磁波防護指針」で策定される、一般環境規制値である、局所 SAR=2W/Kg を上回る値における頭部短期ばく露においても、胎児造血器は有意な影響を受けないことが示された。高周波電波による造血器への遺伝毒性については、電波ばく露量やばく露時間、産子ラットの日齢等の異なる条件でのさらなる検討が必要であると考えられる。

１８.免疫システムの機能とその発達における電磁環境の影響に関する研究

①研究課題選定の背景

先行研究では、免疫系に対する高周波電磁界の影響についての報告が旧ソ連邦を中心に数多くあるが、いずれも電波のばく露装置や評価指標において信頼性に乏しいことが指摘されている。そのため新たな知見が求められており、WHO 国際電磁界プロジェクトの高周波電磁界の優先的研究課題（2006年）においても幼若動物における免疫系の発達への高周波電磁界の影響の検討が優先的課題として挙げられていた。

②研究の目的・概要

本課題では、免疫機能においても発達段階にある幼若な動物および培養細胞を用いて、2.1GHz 帯（W-CDMA 変調）の電波をばく露した際の免疫システムへの影響を機能的・形態的・分子的な指標を用いて検討することを目的とした。

③研究方法

上記の研究を実施するために、ラット全身ばく露装置の作成並びにドシメトリをおこなった。またラットへの高 SAR 条件でのばく露を達成するために新たに反射箱型ばく露装置の開発を行い、同時にそのドシメトリをおこなった。

動物実験および細胞実験による免疫系への影響は主として以下のア～オの５つ（細胞実験ではイ、エ、オウ～オの３つ）の手法により評価をした。

ア　標準的毒性試験における免疫毒性に関連する指標への評価
イ　好中球の遊走能・貪食能における影響に関する調査研究
ウ　ナチュラルキラー（NK）細胞の NK 活性に対する影響に関する調査研究
エ　T 細胞依存性抗体産生（TDAR）試験における影響に関する調査研究
オ　Th1/Th2 バランスに対する影響に関する調査研究

動物実験では、Sprague-Dowley（SD）系統のラットを用いて、短期間のばく露条件では生後 4 週齢から３週間、１日 20 時間、全身平均 SAR は最大 0.2W/kg のばく露を行った。　長期間のばく露条件では胎児期から幼若期の連続ばく露を想定し、母獣の妊娠成立時から出産、離乳を経て生後 6 週までの計 9 週間にわたり１日 20 時間全身平均 SAR0.2W/kg のばく露を行った。また、反射箱を用いたばく露では、全身平均 SAR４W/kg でのばく露を実施した。細胞実験では、最大 10W/kg で 24 時間のばく露を行い検討をおこなった。

④結論及び今後の課題について

本課題では、幼若動物や細胞を使い、電磁環境の免疫系への指標を調べたが、いずれの指標においても基本的に電波による影響は見られなかった。

生体電磁環境研究において、本研究で行った好中球細胞における遊走能、インビトロ抗体産生（TDAR）、Th1/Th2 バランスなど、免疫能を指標とした研究は極めて少ない。本研究成果は、携帯電話や基地局からの電波の生体影響を評価する上で重要な基礎資料になるものである。

新たに開発した反射箱型全身ばく露装置は、小動物に高い比吸収率（SAR）のエネルギーをばく露することができるため、将来的に指針値の妥当性検証等の研究への応用が可能であり、その研究が今後の課題である。

１９.複数の電波ばく露による電波複合ばく露の生体への影響

①研究課題選定の背景

これまで単一の電波の生体影響評価であったが、ヒト環境の実態に即した安全性の評価を行うため、複数電波のばく露研究を選定した。さらに本研究者らは長年にわたって動物を用いた電磁波の生体影響に関する研究に大きな成果を出してきており、信頼度が高いのも選定の一つの理由である。

②研究の目的

ヒトは実際に多数の電波にばく露されている現状を踏まえて本研究では、ラットを用いて複数電波ばく露の健康への影響を追究することを目的としている。

③研究方法

具体的には8種類のUHFあるいはSHF帯の混合電波(IMT-2000 DS-CDMA, MC-CDMA, DS-CDMA, MC-CDMA, Wireless LAN (IEEE 800.11a, b/g), Mobile WiMAX, Next generation PHS)を母動物（妊娠7日から分娩後21日（離乳））まで、児動物(生後0日から6週齢)にいたるまで同時に全身ばく露（1日20時間、毎日）し、妊娠中の母動物及び児動物の成長、行動機能（オープンフィールド検査)、学習･記憶（モーリス水迷路検査）及び生殖能力への影響を追求した。ばく露レベルは母親あるいは児全身平均SARが0.08W/kgを超えない（低ばく露群)、0.4W/kgを超えない群（高ばく露群）および偽ばく露群の３群を設けた。F_1出生児についてばく露期間中及びばく露期間終了後に各種検査を実施し、10 週齢より同じばく露群内で交配を行い、F_2出生児は分娩 4 日まで母動物と共に飼育した。なお、本研究は複数混合波によるばく露装置の開発及びばく露量設定のための数値ドシメトリに関する研究を名古屋工業大学、また動物実験は㈱DIMS 医科学研究所にて実施した。広帯域で多様な偏波ばく露を実現させるために、800MHz～5.5GHz に亘って円偏波が放射可能な楕円型ディスクダイポールアンテナを新たに開発し、また、高精度な電波ばく露を実現させるために、全ばく露期間中においてラットへのばく露の定量管理と制御を実施し、全身平均SARを常に設定値±5%以内にPC で自動制御した。

④研究結果

母動物の一般状態及び体重いずれにおいても異常はみられず、分娩後の母動物の肉眼的病理学検査及び器官重量においても電波ばく露の影響はなかった。さらに、母動物の生殖能力においても電波ばく露の影響はみられなかった。F_1動物では、一般状態、体重、4日生存率、発育分化、反応性検査、オープンフィールド検査、モーリス水迷路検査、生殖能力検査、肉眼的病理学検査及び器官重量のいずれにおいても、電波ばく露の影響はみられなかった。また、F_2動物においても電波ばく露の影響はみられなかった。

⑤結論と今後の課題

８種類の複数の周波数成分を有する混合電波を妊娠･授乳期から生後6週齢に至るまで同時に全身ばく露することによる、児動物の多世代にわたる脳の発達・機能への影響について検討した結果、発育、行動、学習･記憶及び生殖機能のいずれに対しても、電波ばく露の影響はみられないと結論した。

２０. 中間周波数帯の電磁界と人体との間接結合に関する影響調査

①研究課題選定の背景

電波防護指針と国際防護ガイドラインでは、中間周波数帯において接触電流に関する基準値が示されているものの評価指標に相違があり、また、体内に誘導される物理量を評価する解析手法に関する検討が行われていなかった。接触電流により体内に誘導される電流密度の定量関係を検討する必要があった。

②研究の目的・概要

本研究では、現実に即した姿勢に変形した解剖学的に詳細な日本人成人モデルを用いて、接触電流による体内誘導量を数値的に定量化する。また、電波防護指針や、それと同等の国際ガイドラインで示された指針値及び接触電流を人体にばく露した場合の体内における誘導電界を計算し、既存の実験データとの比較から数値解析結果の有効性を検討する。なお、数値解析の妥当性を確認するための実験を行うことを目的とする。

③研究方法

中間周波帯における数値ドシメトリ解析の高精度化および高速化を実施、実験結果との対比によりその有効性の確認を行う。また、低周波において示されている体内刺激閾値の評価式の有効性を、接触電流の過渡成分および定常成分に分けたドシメトリ結果と対比することにより確認する。さらに現実に即した条件を考慮し、接触電流による体内誘導電流を評価する。

④研究結果

中間周波帯における電磁界解析手法として、低周波側の解析手法を適用、その適用上限周波数はおおむね 10 MHz であることを確認した。また、ファントムによる測定を行い、評価指標を電位分布とし、両者の対比より、解析手法の有効性を確認した。また、接触電流の過渡成分、定常成分ともに、脳や心臓における体内誘導電流は 2 桁小さいことを明らかにした。一方、指付近において ICNIRP ガイドラインの参考レベルと体内誘導量の関係には矛盾が生じた。

⑤結論及び今後の課題について

接触電流において、現在の防護指針において、中枢神経系および心臓など重要組織は防護されていることが確認された。一方、指先などにおいては一部矛盾が見られており、末梢神経系の閾値定義、皮膚のモデル化などに課題がある。IEEE 規格においては、電磁界解析と神経モデルの融合に関する課題が提示されており、上記矛盾も同様に重点課題として示されており、取り組みが必要である。

２１．電波ばく露による眼部の定量的調査

①研究課題選定の背景

ミリ波帯は比較的短距離での無線アクセス通信や画像伝送システム、簡易無線、自動車衝突防止レーダー等に利用され、日常生活環境での被ばくが懸念されている。ミリ波帯電波は、体表でほとんどのエネルギーが吸収されるので、生体影響を考慮すべき部位は、体表に露出する皮膚および眼部である。

②研究の目的・概要

ミリ波ばく露による眼部への障害の入射電力密度および照射時間依存性に特に注目して、①眼部への影響の閾値を明らかにする。ミリ波の広範囲な波長域をカバーするために、②ミリ波帯電波のエネルギー吸収モデルを用いて理論的に解析し、波長依存性の特性を明らかにし、代表的な周波数での実験結果（①）との比較により、ミリ波帯閾値特性を推定する。また、閾値以下の低レベルばく露については、③培養細胞実験により、ミリ波帯電波による非熱作用の有無を検討する。

③研究方法

①：レンズアンテナを介して40、75、95 GHzの電波を家兎眼部にばく露し、障害の閾値を求める。また、眼内での対流による熱輸送に着目し、眼内部の水晶体障害を細胞レベルで検討する。②：ミリ波電磁界解析-対流熱輸送連成解析システムを開発し，眼部温度上昇の波長及び入射電力依存性を定量的に解析し、実験と比較しながら適切な熱輸送の数理モデルの構築を検討する。③：ポスト壁導波路を応用した60 GHz細胞用ばく露装置を開発し、樹立角膜上皮細胞、樹立水晶体上皮細胞に対する低電力密度（1 mW/cm^2）・長時間（24時間）ばく露における非熱的影響の検索を遺伝毒性評価として、小核形成、DNA鎖切断に関して実施する。

④研究結果

①：40、75、95 GHz の家兎眼ばく露による眼障害は周波数特性があり、同一の入射電力密度であっても、95≥75>40 の順に高い眼障害惹起傾向を示した。眼内での対流を可視化することにより、高強度のミリ波にばく露による障害は角膜のみならず、眼球内部の水晶体にも影響を示すことが示された。また、現行の防護指針値以下では如何なる眼障害も誘発されないことが示された。

②：対流熱輸送のモデルによる計算機シミュレーションにより、現時点で角膜、水晶体に関して 95>75>40 の順に高い温度上昇が得られた。また可視化実験及びシミュレーションで得られた眼内の対流パターンの周波数依存性を比較した場合、定性的に矛盾がないことが示された。これらに基づいてシミュレーションによる温度上昇データを広範囲な波長域で得ることにより閾値と関連づけられるような示唆を得た。

③：60 GHz および 40 GHz の細胞用ばく露装置を開発し、60 GHz について、非熱的条件で、細胞の長時間ばく露を実施した。細胞の遺伝的影響の評価指標（小核形成、DNA鎖切断）に関しては、本研究の長期間のばく露条件およびシャムばく露の間に統計的有意差は観察されなかった。

⑤結論および今後の課題

・周波数に依存した眼障害の傾向が明らかになった。
・防護指針値以下では如何なる眼障害も誘発されない。
・対流を考慮した熱輸送数理モデルの構築により、実験における熱輸送パターンの周波数依存性と定性的にほぼ同様の結果を得た。
・上述のシミュレーションにより閾値推定のためのモデル作成の手がかりを得た。
・60 GHz細胞ばく露実験において、ばく露群とシャムばく露群の間に有意差はみられなかった。

本研究を通して、眼部へのミリ波曝露に伴う熱輸送は非常に非線形性の強いシステムを扱う必要があることが分かった。従って、今後の課題として、外眼部周辺と眼内部の詳細な温度測定と数値的シミュレーションにより広範なミリ波帯の防護指針の検証が必要と考える。また、今後100 GHz超のハイパワーな波源が実用化されてくることが調査に基づいて予測されるので、さらに高周波数の影響評価のための調査研究が必要であると考えられる。

２２.電波の人体への安全性に関する評価技術（基準適合性評価方法の開発・数値解析モデルの精密化）

①研究課題選定の背景

電波の人体への安全性に関して、我が国では国際的なガイドラインと同等な電波防護指針を策定し、電波法令に基づく規制を行い、適切な電波利用環境を確保している。また、国際電気標準会議（IEC）では、様々な無線設備から発せられる電波の量をより厳密に計測するための方法について国際標準化が進められているところである。本研究は、我が国の電波防護指針の信頼性をより強固とするため、電波防護指針の検証に必要不可欠な技術として、人体に吸収される電波ばく露量をより厳密に計測する技術、無線設備から発せられる電波の量をより厳密に計測する技術の確立を行うものである。

②研究の目的・概要

電波が人体に及ぼす影響に関し、国民の不安を解消し、安全で安心な電波利用社会を構築するため、電波防護指針の検証に必要不可欠な基盤技術として、人体に吸収される電波ばく露量をより厳密に計測する技術の確立、無線設備から発せられる電波の量をより厳密に計測する技術の確立を行う。

③研究方法

前項の目的を達成するために、①人体の電波ばく露量計測技術および②電波防護指針適合性評価技術に関する研究を行う。特に①については数値人体モデルの開発・改良等を含む理論・数値解析による評価方法についての検討と電波利用システム周辺の電磁界測定等のための実験測定による評価方法についての検討を行う。

④研究結果

（１）人体の電波ばく露量計測技術

１）理論・数値解析による評価方法

０．５mm分解能の数値人体モデル（成人男女、３・５・７歳児）を構築し、これまで困難であった３ＧＨｚ以上（１０ＧＨｚまで）の人体ばく露量評価数値シミュレーションを実施した。また、無線電力伝送システムからの電磁界への人体ばく露量の数値シミュレーション等も実施した。これらの計算のためのＧＰＵ数値計算環境を構築した。

２）実験測定による評価方法

新たに開発した測定システムと生体試料測定手順を用いて組織・部位・種等の違いを含む１００種類以上の生体組織の電気定数測定を実施し、１０ｋＨｚから１００ＧＨｚまでの生体組織の電気定数データベースを構築した。また、中間周波数帯電波放射源（ＩＨ調理器、無線電力伝送システム等）の詳細な近傍電磁界測定を実施し、中間周波数帯電波放射源（１０ｋＨｚから１０ＭＨｚ）からの電磁界ばく露量を厳密に評価する技術を確立した。

（２）電波防護指針適合性評価技術

内蔵アンテナ携帯無線端末のＢｏｄｙ－ｗｏｒｎ使用状態でのＳＡＲ測定におけるＴｙｐｅ－Ａ不確かさ（保持具影響・作業者取り付けの影響）について詳細に検討した。今後利用が拡大すると考えられる様々な無線設備（第４世代携帯電話システム等）に対して適合性評価方法を検討した。得られた成果については国際標準化会合（ＩＥＣ／ＴＣ１０６およびＩＴＵ－Ｔ／ＳＧ５等）に寄書した。

⑤結論および今後の課題

電波の安全性を評価するために、数値人体モデルの改良を行い、それらのモデルを用いて無線電力伝送システムからの電磁界への人体ばく露量評価数値シミュレーションを実施する等の理論・数値解

析による評価方法を確立した。また、電磁界への人体ばく露量の評価のための必須パラメータである生体組織の電気定数測定システムの開発・改良を行い、１００種類以上の生体組織の電気定数測定データベースを構築した。さらに、スマートフォン等の最新携帯電話端末のＳＡＲ測定手法やMIMO無線システムのＳＡＲ測定手法についての検討を行い、国際標準化活動に寄与した。

今後も、電波利用システムの進展に応じて、関連の評価技術についての検討が必要である。特に、無線電力伝送システムの電波防護指針適合性評価方法やミリ波・ＴＨｚ波帯におけるばく露量評価技術の確立が喫緊の課題であろう。

２３.超高周波の電波ばく露による影響の調査

①研究課題選定の背景

テラヘルツ波、ミリ波の生体照射影響に関する研究は過去に様々報告されており、それらの論文において、「テラヘルツ波、ミリ波は mW 程度の照射で人体に影響がある」、あるいは、「熱的のみならず、非熱的効果すらある」という記述が多いが、熱作用、非熱作用が曖昧なまま結論を導いているケースが多い。我々の見識では、それらの研究報告は多くの場合、熱効果による生体影響の可能性が否定できず、彼らが主張するような非熱作用ではないと考えている。また、テラヘルツ波、ミリ波の生体安全性に関して、避けて通ることのできないフレーリッヒ仮説というものがある。この仮説を要約すると、「細胞膜（二重リン脂質膜）が 0.1～1 THz のいずれかの周波数で共鳴振動しており、その周波数の電磁波を照射することで、何らかの非熱作用が予想される」というものである。この仮説は 1968 年にイギリスの高名な誘電体学者の H.フレーリッヒ博士が提唱したもので、その後、主にドイツのマックスプランク研究所を中心とする肯定派と、少数の否定派の間で論争が続いたが、テラヘルツ波帯をカバーする広帯域周波数可変光源が当時無かったことなどの理由で決着を見ないまま今日に至っている。研究代表者らは、過去 10 年間、細胞膜電位、生体極微弱光などをパラメータとしてフレーリッヒ仮説の検証実験を進めてきたが、現在まで非熱作用は確認されていない。このような研究背景から、本研究においては、非熱作用の照射実験としては、高くとも照射強度を 10 μW/cm^{2}程度以下に抑え、広帯域周波数可変光源を用いて、70－300 GHz 全域での生体安全性を検証していく必要がある。

一方、早期の実用化が見込まれる、120 GHz および 300 GHz 帯などの特定の周波数帯については、遺伝毒性などを含む、より直接的なハザード評価を周波数帯を絞って、ばく露強度の範囲をより広く想定して実施し、電波防護指針の妥当性の根拠を検証する必要がある。

②研究の目的・概要

本研究は、フレーリッヒ仮説検証に最も適した広帯域周波数可変テラヘルツ・ミリ波光源を使用して、70-300 GHz までの全周波数域において、周波数を広帯域かつシームレスに掃引し、培養細胞である健常人由来ヒト新生児皮膚線維芽細胞へのばく露実験を行い、特異的な変化が現れる電磁周波数の検索及び非熱作用に関するデータを取得することを目的としている。また、近年、実用化が進む 120 GHz および 300 GHz の超高周波帯に特化した電波ばく露の安全性を細胞生物学的に評価することを目的としており、得られた成果から、超高周波帯電波ばく露による影響について、遺伝毒性及び細胞機能の観点から評価を行っていく。

２４.国際共同症例対照研究における症例データの整理・分析・評価

①研究課題選定の背景

国際共同の症例対照研究であるMobi-Kids研究に参加し､平成24年度まで症例対照研究を実施した。一方、小児・若年者においても、スマートフォンなどの新しい携帯端末の普及はめざましく、また、Wi-Fiなどの新しい通信手段の普及も急速である。そこで、これらの状況を加味して、Mobi-Kids研究に参加することとなった。世界保健機関（WHO）は、小児の脳腫瘍の発症に及ぼす潜在的影響の調査を勧告しており、本研究はそれにも答えるものである。

②研究の目的・概要

小児・若年期に携帯電話端末を使用することが、健康に影響を与える可能性がないかを疫学的手法で検討し、携帯電話端末使用の安全性を確認するのが本研究の目的である。可能性のある健康影響としては、携帯電話端末を使用する際に電磁波ばく露が最大となる脳腫瘍の発症リスクに焦点を当てる。平成25年度からの研究では、スマートフォンなどの新しい携帯端末、Wi-Fiなどの新しい通信手段の普及状況をコホート研究によって把握し、脳腫瘍の発症に対する影響の有無を国際共同の症例対照研究であるMobi-Kids研究によって評価する。さらに、新しい携帯端末のばく露評価を実施して、低周波を含めた電磁界のばく露状況を把握する。

２５.刺激作用の周波数依存性の定量的調査

①研究課題選定の背景

我々の住む一般生活環境中には、天然由来の電磁波のみならず、電化製品などから発生する人工的な電磁波が存在する。一方、電磁界の間接的影響の一つに、帯電した物体に触れることで電流が生じる、接触電流という作用がある。わが国では、人体に安全な生活環境維持の目的で、人工的電磁波や電流に関する電波防護指針が定められている。このガイドラインは、10kHz から 100kHz までの低周波数帯域で人体に誘導される電流密度に基づいて作成されている。その根拠は、Chatterjee らが 1986 年に報告したヒトの知覚や疼痛の形成要素である、人体の電気抵抗と閾値電流に関するバイオハザード解析に基づいている。しかし、近年、さまざまな周波数帯域の電磁波が日常的に使用されるようになった結果、生活環境内を流れる電流は複雑化している。その結果、古典的な閾値測定結果に基づく接触電流の安全性に関する防護指針は、もはや時代にそぐわないものとなっており、新たな防護指針の作成が必要と考えられる。

②研究の目的・概要

本研究の目的は、さまざまな年齢の日本人男女を対象に接触電流閾値を正確に測定し、年齢と性の 2 要素を勘案した正常値を作成することである。ヒトにとって安全な電波環境整備を行うための有益な基礎データになると考えられ、接触電流の安全基準作成を可能とする非常に意義深い研究である。

③研究方法

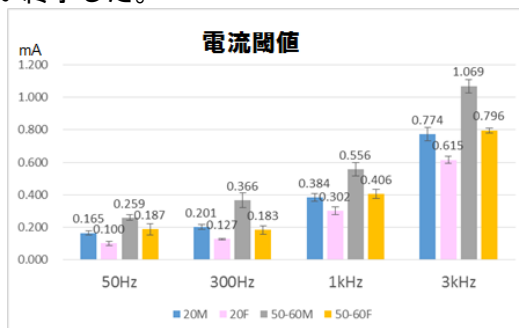
20、30、40、50、60 歳代の男女を学内および一般公募し、健康調査、心理検査を行い、健常成人ボランティアとして選定した。(目標被験者数:各年代男女 5 名ずつ)

接触電流閾値は宇都宮大 上村らが開発した電流感知閾値実験システムを用い、一定の強度で電流強度を上げていく極限法により仮閾値を決めたのち、より正確な閾値測定をするため、刺激をランダムに提示する恒常法を用いて測定した。恒常法は 1 秒間の電流刺激を 10 回提示し、そのそれぞれについて刺激を感じたか否かを回答してもらい、この一連の流れを 1 イニングとした。イニング終了時に結果を統計処理し、50 %の確率で刺激を感じると考えられる電流値を閾値として求めた。

刺激は 50、300、1k、3k、10k、30k、100k、300kHz の 8 種類を用いた。

④研究の進展状況

2014 年 8 月末現在、男性 14 名、女性 18 名の測定が終了した。

若年(20 歳代)に比し、中高年(50-60 歳代)は電流閾値が高かった。50、300、1k、3k、10k、100k、300kHz で年代による有意差を認めた。また、各年代とも男性に比し、女性の電流閾値は低かった。2014 年 12 月までに、各年代男女 5 名ずつの測定を完了する予定である。

２６．６GHz 超の周波数帯における局所ばく露時の健康影響閾値の評価

①研究課題選定の背景

電波がヒトの健康に及ぼす影響について国民の関心が高まっている。その関心に適切に対応するためには、科学的根拠に基づく知見を提供し、電波の安全性について十分に周知し国民から理解を得る必要があることは明白である。我が国において電波防護指針が定められている。この指針の中に局所ばく露に対する指針値が定められており、評価指標として局所 10g 質量平均の比吸収率（SAR）が用いられ、また、その適用上限周波数が 6GHz となっている。一方で、国際保健機関（WHO）が認める国際ガイドラインである ICNIRP ガイドライン、IEEE/ICES 規格における局所 SAR の適用上限周波数は、それぞれ 10GHz、6GHz（但し、3-6GHz は過渡領域と定義）、6GHz と異なっている。また、IEEE/ICES 規格では、全身平均 SAR の適用上限周波数は 3GHz と局所 SAR と異なる。この理由として、ガイドラインの根拠となるデータが不足していることが挙げられる。今後、携帯無線端末の利用が拡大する可能性がある 6 GHz ～ 10 GHz を安全安心に利用するためには、この周波数帯において生体影響についての十分な基礎データを取得する必要がある。

②研究の目的・概要

本研究では、今後、携帯無線端末の利用が拡大する可能性がある 6 GHz ～ 10 GHz を安全安心に利用するため、この周波数帯において生体影響についての十分な基礎データを取得する。また、本研究ではシミュレーション的手法および局所ばく露装置を用いたラットによる動物実験を駆使する。得られた、基礎データを取得することで、局所吸収指針の根拠となる熱作用閾値を明らかにする。このためには、工学的な知見を用いた局所ばく露装置の開発および吸収される熱量の定量的評価と生物学的知見によるばく露量と生体影響の関係性評価を組み合わせることが必要であると考え、工学研究者および生物学研究者混成の研究体制をとっている。更に、人体防護に関する国際ガイドラインへの貢献を念頭においた場合、小動物で得られた成果を人体へ外挿する必要がある。そこで、人体モデルに対する吸収電力および温度上昇の基礎検討を行う。特に 6～10GHz における評価指標に関する検討を加える。さらには、局所ばく露による影響を明確にするために局所ばく露時に全身に吸収される熱による生体影響を評価、確認する。以上の要素研究成果を有機的に議論、情報発信することにより、国民が安心して電波を利用できる社会づくりに寄与することを目的とする。

２７．電波の人体への安全性に関する評価技術（基準適合性評価方法の実証・数値解析モデルの定量的調査）

①研究課題選定の背景

世界保健機関(WHO)等の国際機関は、現状の国際的なガイドラインの妥当性を認めているところであるが、WHO はその信頼性をより強固とするため更なる医学・生物実験の必要性を提言している。また、国際電気標準会議（IEC）では、様々な無線設備から発せられる電波の量をより厳密に計測するための方法について国際標準化が進められているところである。本研究は、我が国の電波防護指針の信頼性をより強固とするため、電波防護指針の検証に必要不可欠な技術として、人体に吸収される電波ばく露量をより厳密に計測する技術、無線設備から発せられる電波の量をより厳密に計測する技術の確立を行うものである。

②研究の目的・概要

電波が人体に及ぼす影響に関し、国民の不安を解消し、安全で安心な電波利用社会を構築するために、電波の人体への安全性に関する評価技術の調査検討を行い、下記の成果を達成することを目標とする。

（１）適合性評価技術の確立

電波防護指針を適切に運用するために必要不可欠な基盤技術として、無線設備から発せられる電波が電波防護指針に適合していることを確認する技術を確立する。

（２）高精度ばく露評価技術の確立

電波防護指針の検証に必要不可欠な基盤技術として、人体に吸収される電波ばく露量をより厳密に計測する技術を確立する。

③研究方法

（１）適合性評価技術の確立

携帯電話端末のＳＡＲ測定の不確かさおよび高速化について検討する。また、LTE 端末等の最新通信システムのＳＡＲ測定方法についても検討する。さらに、無線電力伝送システム等の新しい電波利用システムの電波防護指針適合性評価手法についても検討する。得られた成果を国際標準化会合等に寄与する。

（２）高精度ばく露評価技術の確立

長波からＴＨｚ波帯までの超広帯域にわたる生体組織の電気定数測定データベースを構築し、これらの周波数帯で利用可能な数値人体モデルや計算手法および測定手法等について検討する。得られた成果に基づき、電波防護指針値の妥当性検証や各種電波利用システムを安全に利用するための要件等について検討する。

参考資料（検討に使用したワーキンググループ構成員提出資料）

※注意事項

本第一次報告書の第１部（電波の人体への影響について）は、「電波の生体への影響に関する中間報告書ワーキンググループ」（以下、「中間報告書 WG」という。）を開催することにより検討が行われた。その際、構成員により各分野の研究動向を詳細に分析した情報が寄せられた。これらの各構成員の提出資料を参考資料として掲載する。

ただし、これらの提出資料の**全ての記載内容を検討会として検証したものではない**ため、本情報は、**あくまで参考情報として取り扱う**ものとする。

参考資料１　動物実験研究に関する検討資料 *【牛山明 中間報告書 WG 主査】*

平成 19 年度(2007 年)に生体電磁環境検討会が発足し現在に至っているが、この間、国際的な研究動向も、大きく進展している。非常に多くの研究論文が出版されているが、その個別の評価をおこなうことは、本検討会の目的とするところではないため、本中間報告においては平成 19 年度以降に国際機関(WHO、IARC)および各国機関から公式に発行された報告書などを参照し、電磁環境に関する動物実験の動向についてとりまとめをおこなうこととする。

1. 1. WHO の動向

WHO においては国際電磁界プロジェクトを組織し、電磁環境の健康影響に対する国際的対応をおこなっている。その活動の中で、電磁環境が健康に及ぼすリスク評価を検討し、その評価書である環境保健基準(Environmental Health Criteria)を発刊することとなっている。低周波磁界並びに静磁界に関するリスク評価書はそれぞれ既に 2007 年(低周波)、2006 年(静磁界)に発刊された。現在、携帯電話周波数帯を含む RF 領域に対する環境保健基準の作成が進められており、2014 年中にドラフトが公開される予定である。この RF 領域の環境保健基準によるリスク評価は、今後国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)で議論されるガイドラインの改訂と密接な関係があるため、注視が必要である。

また、WHO 国際 EMF プロジェクトは、2010 年に"WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields"を発行し、RF 領域の優先的研究課題を研究領域毎に挙げている。動物実験関係としては、優先すべき課題の例として、

①「発生分化と行動に対する、胎児期～授乳期における RF ばく露影響の検討」、
②「老化と脳神経変性疾患に対する、RF ばく露影響の検討」
その他推奨される課題として
③「生殖に関わる臓器への RF ばく露影響の検討」

が挙げられている。

このうち、①の「発生分化と行動に対する、胎児期～授乳期における RF ばく露影響の検討」については、胎児期から授乳期における RF ばく露が発生過程並びに行動に対する影響に対してまだ知見が少ないことからその研究の必要性が示されている。また、比較的強い比吸収率(SAR)を頭部局所にばく露した際の影響についても必要であるとしている。

また②の「老化と脳神経変性疾患に対する、RF ばく露影響の検討」については、アルツハイマー病やパーキンソン病といった神経変性疾患の発症と長期間の RF ばく露についての関連性を調べる研究が必要であるとしている。

③の「生殖に関わる臓器への RF ばく露影響の検討」としては男性の生殖能について、携帯電話端末からの RF ばく露が影響を及ぼすことが憂慮されている一方でそのばく露評価が不十分であることから、動物を用いて信頼性を担保したばく露評価のもと、雌雄それぞれの生殖能に及ぼす影響について性ホルモンの分泌などの機能の検討を含めた実験的検証が必要ではないかとしている。

1.2. IARC の動向

2011 年に IARC は RF 電磁界の評価のためのタスクワーキンググループ会議を開催し、「無線周波電磁界がヒトに対して発がん性があるかもしれない（グループ2B）」と判定した。2013 年にはこの判定に基づいた IARC モノグラフが発刊された。

このモノグラフ内の動物実験のセクションの要約を以下に示す。

2年間にわたる携帯電話を模擬した電波ばく露による発がん性試験については5つの論文（マウス1論文、ラット4論文）が最終的に検討された。携帯電話電波を模擬した論文については発がん性が認められず、総合的に2年間の長期ばく露の実験としては発がん性を示す証拠はないと判定した。

がんを発症しやすい動物モデルを用いた研究については 12 論文を精査した。このうちいくつかは同じ実験モデルを使用したものであり、陽性結果の再現実験を試みたものであるが、失敗している。総合的に考えると、これらの動物モデルによって RF ばく露ががんの発生を促進するということを支持する結果はみられないと判定した。

さらに、がんのイニシエーション・プロモーションに関しては 16 の研究について検討した。その結果、RF ばく露がこれらを促進するという一貫した結論は導かれないと判定した。

また、ワーキンググループは co-carcinogenesis(発がん補助)に関する6つの研究を精査した。このうちの４つの論文で陽性の反応が見られていた。このうちラットに変異原物質である 3-chloro-4- (dichloromethyl)- 5-hydroxy-2(5H)-furanone (MX)を含んだ水を与えた研究(1)、および妊娠マウスに N-ethyl-N-nitorosourea (ENU)を投与した実験(2)については、いずれもシャムばく露群に比べばく露群でがんが多くみられる結果であった。また４つのうち２つの論文(3, 4)は、マウスに benzo[a]pyrene を投与した実験の結果である。これら2つの結果はヒトのがんとの関連性が弱いとはいえ、ワーキンググループはそれらの結果を RF ばく露による発がんを支持する限定的な証拠として採用した。

1.3. 各国政府機関からの発表

過去数年間の間に各国政府機関から RF 電磁界と生体影響・健康影響についてレビューや勧告文書が発表されている。それらの中で動物実験に対してのレビューがされている報告書を挙げると以下のとおりである。

- 英国健康保護庁（HPA） Report of the independent advisory group on non-ionizing radiation (AGNIR※) 2012 年発行（※ HPA とは独立した専門家集団によるレポートであるが、HPA はこの報告書を支持する声明を出している。なお、HPA は 2013 年 4 月以降、PHE(Public Health England)に改組されている。）

- ノルウェー公衆衛生研究所 Norwegian report on weak high-frequency electromagnetic fields -an evaluation of health risks and regulatory practice. 2012 年発行（英語版は要約のみ）

- スウェーデン放射線安全庁（SSM）

8th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields　2013 年発行
9th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields　2014 年

・ オーストラリア放射線防護原子力安全庁（ARPANSA）

Review of Radiofrequency Health　Effects Research – Scientific Literature 2000-2012（無線周波の健康影響研究のレビュー　-科学文献 2000-2012） 2014 年発行

このうち、ノルウェーの報告書は英語で書かれた文書が発刊されていないため、またオーストラリア ARPANSA の報告は基本的に英国 HPA 報告の内容を追認するものであるため、本中間報告書では除外し、それ以外の報告書について記載の内容を以下にまとめる。

(1)英国健康保護庁（HPA） Report of the independent advisory group on non-ionizing radiation (AGNIR)

本報告書は、2012 年 4 月に無線周波電磁界からの健康影響についての非電離放射線に関する独立専門家グループ（AGNIR）から発表された報告書であり、英国健康保護庁（HPA）もこの内容について全面的に支持を表明しているものである。

AGNIR は 2003 年に前回レポートをまとめているため、本報告書ではそれ以降の論文をレビューしている。したがって 2007 年の生体電磁環境検討会の発足以前の研究も数多く取り上げられているが、本中間報告書としては、これらを除外せずに AGNIR の報告書に取り挙げられている動物実験研究の内容を紹介する。

AGNIR 報告においては、ヒトへの外挿をすることを考慮し非哺乳類の実験は除外して主としてマウスとラットの動物実験を中心にまとめられている。すべての論文は、詳細に精査をおこない、具体的には適切な研究デザインたとえば、適切なばく露コイルやばく露チャンバーを用いているか、動物の愛護福祉に考慮した実験となっているか、ばく露の評価（ドシメトリ）やばく露条件は適切か等について評価した。また統計方法を採用し、交絡因子を最小限にしているかについて注意深く検討をおこなった。これらの検討の結果、研究によっては、脆弱な研究手法によりおこなわれたものも多いと結論している。脆弱な研究手法とは、たとえば、携帯電話を動物に近づけただけの実験や、ばく露の評価が十分でないものなどである。

また、強い電波ばく露をおこなえば、エネルギーが熱に変換され熱影響が見られるようになる。この現象は、電波強度ばかりではくその時間や動物種、ばく露される環境によっても異なる。たとえば、同じマウスでも体の大きさや系統によっても熱影響が異なることが知られており、これらについても注意が必要であるとしている。

AGNIR 報告においては、以下の影響の種類に分けて評価した論文を紹介している。

1） 脳と神経組織への影響 （59 論文） ※さらに 5 つの小項目
2） 行動 （20 論文）　 ※さらに 2 つの小項目
3） 内分泌 （8 論文）
4） 聴覚機能（11 論文）

5) がん関連（38 論文） ※さらに 5 つの小項目
6) 免疫系および造血系（8 論文）
7) 生殖および発生（32 論文） ※さらに 2 つの小項目
全部で延べ 176 論文が対象となっている。以下に簡単にそれぞれの項目をまとめる。

1) 脳と神経組織への影響
1-1) 脳と神経組織における細胞生理的（病理的）影響
全部で 38 論文が対象となり、研究のアウトプットとしては脳における熱ショック蛋白質等のストレス関連各遺伝子の発現、神経細胞のアポトーシス、グリア細胞線維性酸性タンパク質（GFAP）の発現、酸化ストレスマーカーへの影響などとなっている。38 論文のうち、何らかの影響を示唆した論文が２１論文、影響を認めないものが 38 論文とされた。しかしながら、陽性論文の中には、たとえば、脳波を取るために金属電極を脳に埋め込んで実験をしていたり(5)、GFAP の発現には影響が見られたが、行動観察では影響がないという結果であったり (6)や、GFAP の増加は一過性でばく露の３日後には変化が観察されない(7)、あるいは携帯電話端末を動物から１cm においた実験(8)などの論文も含まれている。
なお、重要と思われるのは、スウェーデンの Salford らが 2003 年に発表した研究(9)のレプリケーション（再現実験）が複数おこなわれ、彼らが結論した弱い電波ばく露によるダークニューロンとアポトーシス細胞の増加が再現実験ではいずれも再現できず陰性の結果として報告された点である(10, 11)。（この項目に分類されていないが、米国の McQuade らの論文(12)も再現実験であり結果は陰性であった。）
1-2) 神経伝達物質
２論文が検討されて、陽性、陰性の結果が各１論文であった。
脳局所ばく露で6W/kg をばく露した論文においては、NMDA 受容体をはじめとする神経伝達に関係する分子の発現などに影響が見られたが、行動には影響がなかったという報告がある(6)。
1-3) 脳電位への影響
５論文が検討されて、陽性3論文、陰性が2論文であった。陽性論文のうち2つは脳波取得のため脳に電極を刺しており、これにより電波ばく露によるピークSAR は計算値よりも高くなるという AGNIR からのコメントが付されている。また、別の陽性論文(13)ではけいれん誘発モデルマウスで電波ばく露がその頻度を増加させる結果であるが、観察手法に問題がある可能性が指摘されている。
1-4) 血液脳関門および微小循環
12 論文が引用され、そのうち陽性が4論文、陰性が8論文であった。陽性の論文においては、オスラットのみにアルブミンの漏洩が見られメスでは見られないという説明しがたい結果(14)や、量反応関係が反転している結果(15)などが問題点として指摘されている。
1-5) 自律神経機能

心拍や血圧に及ぼす影響が調べられた論文を2つ紹介しているが、いずれも陰性の結果である。このうちの一つは 35GHz、94GHz を使用した実験であり、もう一つは動物を保定し測定をおこなっているため、いずれも特殊条件であるためこの領域の研究がさらに必要と考えられる。

以上脳神経系をまとめると、何らかの影響（たとえば、GFAP・炎症性反応・ストレス保護因子の増加）が、動物が熱作用により暖まる可能性のある条件（SAR1.5～6W/kg）で起こる可能性が認められる。しかしながらガイドライン以下ではそのようなことが起こるということは考えにくい。また血液脳関門についての最近の研究はおおむね陰性である。自律神経機能については、まだまだ情報が不足している状況である。

2）行動

2-1）空間記憶タスク試験

電波をばく露した動物を、放射型迷路やモリス水迷路試験により、動物の空間記憶能を調べた結果が報告されている。この研究手法では 11 論文があげられており、そのうち7論文が陽性、４論文が陰性の結果を示している。陰性の結果のうち２つ(16, 17)は以前の陽性結果(18)のレプリケーション（再現）実験であり、いずれも先行研究の結果を否定する結果となっているが、研究デザインが十分に確立された実験であるため信頼性は高い。一方、陽性の結果のうちのいくつかはばく露に携帯電話本体を使っており、その点でも AGNIR は問題を指摘している。

また、全体をみても、証拠の強さは非常に限定されており、小児への影響を見るために、幼若動物などの実験も不足していると AGNIR は指摘している。

2-2）その他の一般学習タスク

2-1 で取り上げた以外のその他の学習タスクについては9論文が紹介されている。このうち、４論文は陽性、５論文が陰性結果である。しかしながら、陽性論文においてはドシメトリの記述が乏しい論文(19, 20)や、ばく露の際に携帯電話を竹でできたケージの中に置くことでばく露をおこなっている論文(21)があり AGNIR はこれらの問題を指摘している。

3）内分泌

８論文のうち、陽性が３論文、陰性が５論文であった。陽性論文の一つは 900MHz、2W/kg で動物を固定して１日 30 分、４週間のばく露を行った際に、 甲状腺ホルモン（TSH、T3、T4）がばく露群で有意に減少していることを報告しているが、論文の筆者らは温度影響の可能性も指摘している(22)。

4）聴覚機能

携帯電話は耳に接触させて使用するため、聴覚への影響については非常に強い関心が持たれていた。聴覚機能影響を調べた 11 論文のうち、４論文が陽性で、７論文が陰性であった。いくつかの論文はウサギを実験対象に用いている。これらの論文全ては聴覚機能をDPOAE（耳音響放射検査）法により評価したものである。DPOAE 法は内耳から発生する

音響放射(OAE)を測定する方法で、客観的に内耳機能を評価することが可能である。陽性となった論文は全てウサギを用いた論文であるが、SAR についての記載もないことから、AGNIR はこれらの結果は組織加温の影響による可能性を指摘している。

5) がん関連研究

5-1) 遺伝毒性と変異

2003 年に出版したAGNIRの前回の報告書において、遺伝毒性と変異についてはこれまで一部に DNA 鎖切断が報告されてきたが、その結果は一致性が見られず、(仮に陽性であっても)DNA 安定性には大きな影響は持たないであろうと結論してきた。それでもなお、この数年研究が続き、今回の AGNIR 報告書まで多くの論文が発表されてきた。これらを明らかにするために使用されている方法は、コメットアッセイ、小核試験などである。近年の研究では多くは体細胞を使用しているが、一部では生殖細胞を用いた研究も見られる。

今回の AGNIR 報告では 18 論文が対象となり、8 論文が陽性、10 論文が陰性であった。陽性のうち、Vijayalaxmi の研究(23)では、42.2GHz のミリ波を使用しており温度上昇が懸念される。また、Kumer の研究(24)でも 10GHz を使用した実験で赤血球微小核の増加が見られている。しかしながら、携帯電話周波数帯の実験で、よく制御された実験系においては過去の陽性結果の再現研究におおむね失敗して陰性の結果となっている。

5-2) がん発生(通常系統動物)への影響

AGNIR の 2003 年の報告では、それまでの研究報告を鑑み、がん原性を持たないであろうという結論であった。その後の研究で今回の報告では 5 論文が対象となり、1論文が陽性、4論文が陰性であった。

このうち、アメリカのナショナルトキシコロジープログラム下でおこなった実験条件が非常によく制御された Smith らの論文(25)では、最大4W/kg のばく露1日 2 時間、2 年間のばく露を行った結果を示しているが、陰性であった。また、陽性であった1論文(26)は、2 年までの観察期間では有意差は認めないが、2 年以上で有意な差が見られたという結果であった。

5-3) がん発生(がん多発動物)への影響

もともと、がんの多発がみられる動物(AKR/J マウス等)、あるいは遺伝子組換えでがんが多発する動物(Pim1 マウス等)を用いた実験の5論文のうち、陽性が1論文、陰性が4論文である。陽性のうち、Anghileri らの研究(27)では、OF-1 マウスのリンフォーマが増加しているが、ドシメトリなどの実験デザインの問題点について AGNIR が指摘している。

5-4) 発がん補助への影響

N-ethylnitrosourea(ENU)投与による発がんの RF-EMF の補助作用について検討された 3 論文はいずれも陰性であった。このうち、日本の Shirai らによっておこなわれた研究(28, 29)は、製薬の動物実験で必須な GLP 基準(Good Laboratory Practice Standards)に則って行われており、実験環境の信頼性が担保されたものである。

5-5) 移植がんへの影響

主として、臨床的ながん治療への基礎として、GHz 帯を使用した研究が 3 論文あり、いずれも陽性である。しかしながらこれらは、加温効果による熱影響を基礎としているものであり非熱作用ではない。

6) 免疫系および造血系

免疫系・造血系に関しては生体におけるその重要性に比して動物を用いた研究が非常に少なく、8 論文のみである。このうち、4 論文が陽性、4 論文が陰性であった。免疫系に関しては、特に、1970 年代におこなわれ旧ソビエト連邦の、一部の国のガイドラインにも影響を与えている実験のレプリケーション（再現）実験がフランスで行われ、陰性が証明された点は重要である。旧ソビエト連邦の研究は、ばく露した動物から取った血清を別の妊娠動物に注射するとその胎児に影響がでるという報告であったが、今回の再現研究ではそのような影響は見られなかった(30)。

造血系に関しては、ラットの RF-EMF ばく露で一過性に影響が見られるという報告がある(31)が、それはばく露時の拘束によるストレス反応の可能性を排除できない。総合的に考えると、免疫造血系に対しては、影響がないものと考えられる。

7) 生殖と胎児発生

7-1) 精巣機能（13 論文）

精巣機能については 13 論文があり、陽性 8 論文、陰性 5 論文である。陽性論文の中には、精子数の減少など非常に影響が大きい論文が見られるが、例えば、Salama らによる一連の論文(32-34)は携帯端末を固定した動物に近づけた実験デザインであり、適切な実験デザインとは言い難いものである。また、このうち１つの論文(33)については、データの信頼性など複数の理由により論文著者により取り下げがおこなわれている。また、その他にも研究デザインが不十分なものも含まれている。一方で、よくデザインされた 848MHz の CDMA 波を使った実験(35)においては結果は陰性であった。また、陽性の中には 10GHz 以上の高周波のばく露を行ったものが3論文含まれており、その研究結果についてはさらなる検討が必要である。

7-2) 妊娠および胎児の発生

妊娠および胎児の発生に関する論文は 19 論文あり、そのうち陽性 9 論文、陰性 10 論文であった。しかしながら、AGINIR が精査し、非常に洗練されたデザインによる研究6論文に絞ると、いかなる催奇形などの影響も見られていない(36-41)。その他の研究では、様々なアウトカム指標や実験デザインの不備などのため明確な結論を導くことができず、電波の影響として明らかな証拠となるものとは言えない状況である。

(2) スウェーデン放射線安全庁（SSM）

8th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields 2013 年発行

9th report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields 2014 年

スウェーデン放射線安全庁のまとめたこれらのレポートは、周波数毎（定常磁界、超低

周波磁界、中間周波、高周波磁界）にそれぞれ細胞実験、動物実験、ヒト対象研究、疫学研究の現在の状況をまとめたものとなっている。また、それとは別に、自己申告の電磁過敏症およびその症状についても独立した章を設けている。以下ではこのうちの高周波領域における動物実験についてまとめるものである。

なお、8th レポートは主として 2011 年～2012 年に発表された論文を、9th レポートはその後 2013 年 9 月までに発表された論文をレビューしたものである。前項にまとめた英国 HPA（AGNIR）レポートとは、8th レポートの RF 領域の動物実験 50 論文のうち 18 論文が重複しているが、それ以外の 32 論文および、9th レポートの 18 論文は重複してない。

8thレポートの動物研究においては、以下のように指標毎に分類している。

1. 脳機能と行動（6 論文）
2. 脳内化学物質挙動と生理反応（9 論文）
3. 脳内酸化ストレス（7 論文）
4. 脳以外の酸化ストレス（5 論文）
5. 遺伝毒性とがん（8 論文）
6. 生殖、発生（10 論文）
7. 聴覚系（2 論文）
8. 免疫・循環器系（6 論文）

結論としては以下のとおりである。

動物研究において、脳機能が RF-EMF ばく露によって影響を受ける可能性および脳を含めて様々な組織において RF-EMF ばく露によって酸化ストレスが惹起される可能性があるとした。しかしながら脳機能について、ヒトへ外挿するには、そのばく露様式が異なる（動物では脳全体であるのに対してヒトでは脳の局所的）こと等から引き続き議論が必要ではないかと指摘している。また酸化ストレスに関しては様々な健康影響を引き起こす可能性があるが、現時点ではそのような研究は示されていない。遺伝毒性についてはいくつかの陽性・陰性結果が混在しているが陽性結果の再現性確認がされておらず、またがんについてはリスクの増加がみられていない。また、生殖について十分なクオリティをもった研究では結果はネガティブであり、免疫機能に関しても影響は見られない。

さらにレポートは、「多くの動物実験が行われているが、そのデザインが不適切な研究が多く、特に電波ばく露に関しての情報が欠如している点が問題である。適切なデザインの研究および十分な情報を与えられた動物実験こそが、健康リスク分析に結びつく」と、主張している。

また 9th レポートにおいては、8th レポートの流れを踏襲する一方で以下のような論文分類を行っている。

1. 脳機能と行動（5 論文）
2. 遺伝毒性（1 論文）
3. 生理機能（2 論文）

4. 生殖および幼若動物への栄光影響（2 論文）

5. ばく露条件および関連情報の記載が不十分（8 論文）

特徴的なのは5の項目で、専門的な視線で見た場合にばく露条件などの記載が不適切と判断した論文を集約したことである。

9th レポートにおいて、高周波・動物実験の結論としては以下のように述べている。

RF 領域の動物実験の多くは、明確な作業仮説および適切な研究デザインに基づいたものとは言えず、特にばく露装置およびドシメトリに記載が足りない物が多い。しかしながら総合して考えると、もし何らかの国際基準において実験動物の結果を考慮する必要があるのならこれらについて確認をするべきである。総合して、実験動物に関しては、酸化ストレスと行動や情緒といった脳機能に弱いながらも何らかの影響を与える可能性が示されている。遺伝毒性、ホルモン、グルコース、男性不妊、生殖は主として単一の研究による物であり再現性試験が必要である。

1. Heikkinen P, Ernst H, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, Maki-Paakkanen J, et al. No effects of radiofrequency radiation on 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone-induced tumorigenesis in female Wistar rats. Radiation research. 2006 Aug;166(2):397-408. PubMed PMID: 16881741.
2. Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, et al. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. International journal of radiation biology. 2010 Jul;86(7):529-41. PubMed PMID: 20545575.
3. Szmigielski S, Szudzinski A, Pietraszek A, Bielec M, Janiak M, Wrembel JK. Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450-MHz microwave radiation. Bioelectromagnetics. 1982;3(2):179-91. PubMed PMID: 7126270.
4. Szudzinski A, Pietraszek A, Janiak M, Wrembel J, Kalczak M, Szmigielski S. Acceleration of the development of benzopyrene-induced skin cancer in mice by microwave radiation. Archives of dermatological research. 1982;274(3-4):303-12. PubMed PMID: 6299207.
5. Lopez-Martin E, Relova-Quinteiro JL, Gallego-Gomez R, Peleteiro-Fernandez M, Jorge-Barreiro FJ, Ares-Pena FJ. GSM radiation triggers seizures and increases cerebral c-Fos positivity in rats pretreated with subconvulsive doses of picrotoxin. Neuroscience letters. 2006 May 1;398(1-2):139-44. PubMed PMID: 16448750.
6. Mausset-Bonnefont AL, Hirbec H, Bonnefont X, Privat A, Vignon J, de Seze R. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. Neurobiology of disease. 2004 Dec;17(3):445-54. PubMed PMID: 15571980.

7. Brillaud E, Piotrowski A, de Seze R. Effect of an acute 900MHz GSM exposure on glia in the rat brain: a time-dependent study. Toxicology. 2007 Aug 16;238(1):23-33. PubMed PMID: 17624651.
8. Yan JG, Agresti M, Zhang LL, Yan Y, Matloub HS. Upregulation of specific mRNA levels in rat brain after cell phone exposure. Electromagnetic biology and medicine. 2008;27(2):147-54. PubMed PMID: 18568932.
9. Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Environmental health perspectives. 2003 Jun;111(7):881-3; discussion A408. PubMed PMID: 12782486. Pubmed Central PMCID: 1241519.
10. Masuda H, Ushiyama A, Takahashi M, Wang J, Fujiwara O, Hikage T, et al. Effects of 915 MHz electromagnetic-field radiation in TEM cell on the blood-brain barrier and neurons in the rat brain. Radiation research. 2009 Jul;172(1):66-73. PubMed PMID: 19580508.
11. Poulletier de Gannes F, Haro E, Hurtier A, Taxile M, Ruffie G, Billaudel B, et al. Effect of exposure to the edge signal on oxidative stress in brain cell models. Radiation research. 2011 Feb;175(2):225-30. PubMed PMID: 21268716.
12. McQuade JM, Merritt JH, Miller SA, Scholin T, Cook MC, Salazar A, et al. Radiofrequency-radiation exposure does not induce detectable leakage of albumin across the blood-brain barrier. Radiation research. 2009 May;171(5):615-21. PubMed PMID: 19580497.
13. Erdinc OO, Baykul MC, Ozdemir O, Ozkan S, Sirmagul B, Oner SD, et al. Electromagnetic waves of 900 MHz in acute pentylenetetrazole model in ontogenesis in mice. Neurological sciences : official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology. 2003 Oct;24(3):111-6. PubMed PMID: 14600821.
14. Sirav B, Seyhan N. Blood-brain barrier disruption by continuous-wave radio frequency radiation. Electromagnetic biology and medicine. 2009;28(2):215-22. PubMed PMID: 19811403.
15. Eberhardt JL, Persson BR, Brun AE, Salford LG, Malmgren LO. Blood-brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Electromagnetic biology and medicine. 2008;27(3):215-29. PubMed PMID: 18821198.
16. Cobb BL, Jauchem JR, Adair ER. Radial arm maze performance of rats following repeated low level microwave radiation exposure. Bioelectromagnetics. 2004 Jan;25(1):49-57. PubMed PMID: 14696053.
17. Cassel JC, Cosquer B, Galani R, Kuster N. Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter radial-maze performance in rats. Behavioural brain

research. 2004 Nov 5;155(1):37-43. PubMed PMID: 15325777.

18. Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. Bioelectromagnetics. 1994;15(2):95-104. PubMed PMID: 8024608.
19. Daniels WM, Pitout IL, Afullo TJ, Mabandla MV. The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. Metabolic brain disease. 2009 Dec;24(4):629-41. PubMed PMID: 19823925.
20. Kumar RS, Sareesh NN, Nayak S, Mailankot M. Hypoactivity of Wistar rats exposed to mobile phone on elevated plus maze. Indian journal of physiology and pharmacology. 2009 Jul-Sep;53(3):283-6. PubMed PMID: 20329378.
21. Narayanan SN, Kumar RS, Potu BK, Nayak S, Bhat PG, Mailankot M. Effect of radio-frequency electromagnetic radiations (RF-EMR) on passive avoidance behaviour and hippocampal morphology in Wistar rats. Upsala journal of medical sciences. 2010 May;115(2):91-6. PubMed PMID: 20095879. Pubmed Central PMCID: 2853785.
22. Koyu A, Cesur G, Ozguner F, Akdogan M, Mollaoglu H, Ozen S. Effects of 900 MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. Toxicology letters. 2005 Jul 4;157(3):257-62. PubMed PMID: 15917150.
23. Vijayalaxmi, Logani MK, Bhanushali A, Ziskin MC, Prihoda TJ. Micronuclei in peripheral blood and bone marrow cells of mice exposed to 42 GHz electromagnetic millimeter waves. Radiation research. 2004 Mar;161(3):341-5. PubMed PMID: 14982479.
24. Kumar S, Kesari KK, Behari J. Evaluation of genotoxic effects in male Wistar rats following microwave exposure. Indian journal of experimental biology. 2010 Jun;48(6):586-92. PubMed PMID: 20882761.
25. Smith P, Kuster N, Ebert S, Chevalier HJ. GSM and DCS wireless communication signals: combined chronic toxicity/carcinogenicity study in the Wistar rat. Radiation research. 2007 Oct;168(4):480-92. PubMed PMID: 17903030.
26. Bartsch H, Kupper H, Scheurlen U, Deerberg F, Seebald E, Dietz K, et al. Effect of chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) on survival of female Sprague-Dawley rats: modulatory effects by month of birth and possibly stage of the solar cycle. Neuro endocrinology letters. 2010;31(4):457-73. PubMed PMID: 20802457.
27. Anghileri LJ, Mayayo E, Domingo JL, Thouvenot P. Radiofrequency-induced carcinogenesis: cellular calcium homeostasis changes as a triggering factor. International journal of radiation biology. 2005 Mar;81(3):205-9. PubMed PMID: 16019929.
28. Shirai T, Kawabe M, Ichihara T, Fujiwara O, Taki M, Watanabe S, et al. Chronic exposure to a 1.439 GHz electromagnetic field used for cellular phones does not promote N-ethylnitrosourea induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics. 2005 Jan;26(1):59-68. PubMed PMID: 15605402.

29. Shirai T, Ichihara T, Wake K, Watanabe S, Yamanaka Y, Kawabe M, et al. Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular system on development of N-ethylnitrosourea-induced central nervous system tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics. 2007 Oct;28(7):562-72. PubMed PMID: 17516507.
30. Prisco MG, Nasta F, Rosado MM, Lovisolo GA, Marino C, Pioli C. Effects of GSM-modulated radiofrequency electromagnetic fields on mouse bone marrow cells. Radiation research. 2008 Dec;170(6):803-10. PubMed PMID: 19138032.
31. Trosic I, Busljeta I, Pavicic I. Blood-forming system in rats after whole-body microwave exposure; reference to the lymphocytes. Toxicology letters. 2004 Dec 1;154(1-2):125-32. PubMed PMID: 15475186.
32. Salama N, Kishimoto T, Kanayama HO, Kagawa S. The mobile phone decreases fructose but not citrate in rabbit semen: a longitudinal study. Systems biology in reproductive medicine. 2009 Dec;55(5-6):181-7. PubMed PMID: 19938952.
33. Salama N, Kishimoto T, Kanayama HO. Effects of exposure to a mobile phone on testicular function and structure in adult rabbit. International journal of andrology. 2010 Feb;33(1):88-94. PubMed PMID: 19076254.
34. Salama N, Kishimoto T, Kanayama HO, Kagawa S. Effects of exposure to a mobile phone on sexual behavior in adult male rabbit: an observational study. International journal of impotence research. 2010 Mar-Apr;22(2):127-33. PubMed PMID: 19940851.
35. Lee HJ, Pack JK, Kim TH, Kim N, Choi SY, Lee JS, et al. The lack of histological changes of CDMA cellular phone-based radio frequency on rat testis. Bioelectromagnetics. 2010 Oct;31(7):528-34. PubMed PMID: 20607737.
36. Lee HJ, Lee JS, Pack JK, Choi HD, Kim N, Kim SH, et al. Lack of teratogenicity after combined exposure of pregnant mice to CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields. Radiation research. 2009 Nov;172(5):648-52. PubMed PMID: 19883234.
37. Jin YB, Lee HJ, Seon Lee J, Pack JK, Kim N, Lee YS. One-year, simultaneous combined exposure of CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields to rats. International journal of radiation biology. 2011 Apr;87(4):416-23. PubMed PMID: 21171939.
38. Ogawa K, Nabae K, Wang J, Wake K, Watanabe S, Kawabe M, et al. Effects of gestational exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular phones: Lack of embryotoxicity and teratogenicity in rats. Bioelectromagnetics. 2009 Apr;30(3):205-12. PubMed PMID: 19194858.
39. Sommer AM, Grote K, Reinhardt T, Streckert J, Hansen V, Lerchl A. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multi-generation study. Radiation research. 2009 Jan;171(1):89-95. PubMed PMID:

19138054.

40. Takahashi S, Imai N, Nabae K, Wake K, Kawai H, Wang J, et al. Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. Radiation research. 2010 Mar;173(3):362-72. PubMed PMID: 20199221.

41. Sambucci M, Laudisi F, Nasta F, Pinto R, Lodato R, Altavista P, et al. Prenatal exposure to non-ionizing radiation: effects of WiFi signals on pregnancy outcome, peripheral B-cell compartment and antibody production. Radiation research. 2010 Dec;174(6):732-40. PubMed PMID: 21128797.

参考資料２　細胞実験研究に関する検討資料 *【宮越順二 中間報告書 WG 構成員】*

2.1. これまでに我が国から発表された細胞研究論文のまとめ

我が国から電波の生体影響に関して、細胞研究の論文発表が行われている。代表例として、IARC発がん性評価会議（モノグラフ no.102）で引用された論文を以下に記載する。なお、論文の末尾に星印（＊）が入ったものは、総務省・生体電磁環境研究推進委員会からの研究成果である。

1. Fu-Rong Tian, Takehisa Nakahara, Kanako Wake, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Exposure to 2.45GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg, but not at a lower SAR of 5W/kg, in human glioma MO54 cells. International Journal of Radiation Biology, 78, 433-440 (2002) ＊
2. Junji Miyakoshi, Masami Yoshida, Yoshiaki Tarusawa, Toshio Nojima, Kanako Wake and Masao Taki: Effects of High-Frequency Electromagnetic Fields on DNA Strand Breaks Using Comet Assay Method. Electrical Engineering in Japan, 141, 9-15 (2002)
3. Junji Miyakoshi, Masami Yoshida, Yoshiaki Tarusawa, Toshio Nojima, Kanako Wake and Masao Taki: Effects of High-Frequency Electromagnetic Fields on DNA Strand Breaks Using Comet Assay Method. Electrical Engineering in Japan, 141, 9-15 (2002)＊
4. Shin Koyama, Takehisa Nakahara, Kanako Wake, Masao Taki, Yasuhito Isozumi and Junji Miyakoshi: Effects of High Frequency Electromagnetic Fields on Micronucleus Formation in CHO-K1 Cells. Mutation Research, 541, 81-89 (2003)＊
5. Shin Koyama, Yasuhito Isozumi, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on micronucleus formation in CHO-K1 cells. The Scientific World Journal, 4, 229-40 (2004)＊
6. Yoshiki Komatsubara, Hideki Hirose, Tomonori Sakurai, Shin Koyama, Yukihisa Suzuki, Masao Taki, Junji Miyakoshi: Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. Mutation Research, 587, 114-119 (2005)＊
7. Hideki Hirose, N. Sakuma, N. Kaji, T. Suhara, Masaru Sekijima, Toshio Nojima and Junji Miyakoshi: Phosphorylation and gene expression of p53 are not affected in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW or W-CDMA modulated radiation allocated to mobile radio base stations. Bioelectromagnetics, 27, 494-504 (2006)
8. Jin Wang, Shin Koyama, Yoshiki Komatubara, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effect of a 2450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells. Bioelectromagnetics,27, 479-486 (2006) ＊
9. N. Sakuma, Yoshiki Komatsubara, Hiroshi Takeda, Hideki Hirose, Masaru Sekijima, Toshio

Nojima and Junji Miyakoshi: DNA Strand Breaks Are Not Induced in Human Cells Exposed to 2.1425 GHz Band CW and W-CDMA Modulated Radiofrequency Fields Allocated to Mobile Radio Base Stations. Bioelectromagnetics, 27 , 51-57 (2006)

10. Shin Koyama, Yoshio Takashima, Tomonori Sakurai, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz Electromagnetic Fields with a Wide Range of SARs on Bacterial and HPRT Gene Mutations. Journal of Radiation Research, 48, 69-75 (2007)*
11. Shin Koyama, Yoshio Takashima, Tomonori Sakurai, Yukihisa Suzuki, Masao Taki, Junji Miyakoshi: Effects of 2.45 GHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on bacterial and HPRT gene mutations. Journal of Radiation Research, 48, 69-75 (2007)*
12. Masaru Sekijima, Hiroshi Takeda, Katsuaki Yasunaga, Sakuma N, Hideki Hirose, Toshio Nojima, Junji Miyakoshi: 2-GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields have no significant effect on cell proliferation and gene expression profile in human cells. J Radiat Res (Tokyo). 2010; 51(3):277-84. Epub 2010 Mar 9.
13. Tomonori Sakurai, Tomoko Kiyokawa, Eijirou Narita, Yukihisa Suzuki, Masao Taki and Junji Miyakoshi: Analysis of gene expression in a human-derived glial cell line exposed to 2.45 GHz continuous radiofrequency electromagnetic fields. Journal of Radiation Research, (Tokyo) 52:185-192 2011.*

以上のように、電波の生体影響評価研究で、国際機関における安全性評価において、我が国の細胞研究の成果は、多大な貢献を行っている。

2.2. 細胞研究の指標

上記の論文で主に検討されてきた細胞評価の指標を表1に示す。特に、遺伝毒性試験の単独ばく露では、小核形成、DNA鎖切断、複合ばく露ではマイトマイシンC、さらに、非遺伝毒性試験では、免疫システム、遺伝子発現、遺伝子解析やアポトーシスなどが有力指標となっている。

表1. 評価・検討された細胞研究の代表的指標

		評価指標
遺伝毒性	単独ばく露	小核形成、DNA鎖(切断)、染色体異常、染色分体交換、突然変異
	複合ばく露	化学物質(化学療法剤：マイトマイシンC、ドキソルビシン；DNA損傷剤：メナジオン)、放射線、紫外線
非遺伝毒性		免疫システム、遺伝子発現（HSP、proto-oncogenes)、シグナル伝達、遺伝子解析（プロテオミクス、トランスクリプトミクス）、ROS(reactive oxygen species)、細胞増殖、細胞周期、アポトーシス

2..3. 研究に用いられている主な細胞の由来

これまでの電波の生体影響研究において、細胞研究では、ヒト由来、動物由来、大腸菌など種々の細胞が用いられている。ヒト由来細胞では、末梢血白血球(正常PBL)、脳腫瘍、子宮頸がん、皮膚、白血病、羊膜、レンズ、肺などの由来細胞が代表的である。ヒト以外の哺乳動物由来細胞では、中国ハムスター（CHO）由来の卵巣（CHO-K1）や肺(V-79)、マウス由来白血病細胞、ラット由来ニューロンなどがある。その他として、大腸菌やイーストも用いられている。

2.4. 細胞実験研究の対象となっている電波の周波数帯

細胞研究で対象としている電波の周波数帯は、そのほとんどが、800～2,000MHzと 2,450 MHzである。その他として、IARC 評価で引用された周波数は、7,700MHzと 9,000MHzでそれぞれ1件ずつ遺伝毒性試験報告があった。

2.5. IARC発がん性評価における細胞実験研究の評価

IARC において、細胞研究の評価では、証拠として、①強い（Strong),②中程度(Moderate),③弱い(Weak),④なし(No eidence)に分類した。遺伝毒性について、多くはネガティブ報告ではあるが、一部の陽性報告を考慮し、「弱い証拠」とした。ただ、突然変異については「証拠なし」とした。免疫機能については、遺伝毒性に比べ報告数も少なく、ネガティブ、ポジティブ共に報告があり、今後の研究推進を図る意味を込めて、「不十分な証拠」とした。遺伝子、タンパク発現、シグナル伝達については、ポジティブデータを支持する十分な追試報告もなく、「弱い証拠」とした。つまり、ヒトの発がんに関与するメカニズムとして、説明するには、不十分で

ある。その他、非熱的ばく露条件での酸化ストレスや、神経機能などへの影響ついては「弱い証拠」とした。

2.6. 細胞研究のまとめ

これまでの細胞研究成果を簡単にまとめると以下のように考えられる。

1. 携帯電話で用いられている周波数帯（数１００MHz～2GHz）および、2.45GHzに関しては、１００編を超える相当数の遺伝毒性を指標とした研究が論文発表され、非熱的ばく露環境において、そのほとんどはネガティブである。
2. 非遺伝毒性を指標とした研究では、免疫機能、ストレスタンパクの発現など、一部において陽性効果の報告はあるが、精度の高い再現実験で確かめられてはいない。ただ、論文数は少なく、最終的結論を出すには、さらなる研究が必要である。
3. 上記に挙げた周波数帯以外（例えば中間周波、超高周波帯）では、現時点で、細胞研究実績は極めて少ない。

2.7. 細胞実験において推奨される今後の研究課題

これまでの細胞研究成果を基にして、今後、将来にわたって利用される多様な電波を想定すると、これから検討すべき研究課題は、以下のように考えられる。

1. 研究方法として、短期ばく露（数10分～数時間）の実験が多く、低レベルで長期ばく露（10時間～数日）の研究が望まれる。
2. 超高周波や急速な開発が進んでいるワイヤレス給電（WPT）で使用される中間周波数帯電磁波の安全性評価研究などが極めて少なく、新たな研究として推奨される。
3. 指標としては発がん性に関与する遺伝毒性試験が多く行われている。新規の周波数帯においては、遺伝毒性試験は必要不可欠である。ただ、すでに遺伝毒性試験が進められている周波数帯では、むしろ、DNA 以外の細胞諸機能(免疫機能含む)をターゲットとした研究推進の必要性が高いと考える。
4. 生活環境において、新たな電磁波利用が高まる中、安全性評価の一環として、これらの細胞研究の推進が望まれる。

参考資料３　ヒト研究に関する検討資料 *【寺尾安生 中間報告書 WG 構成員】*

電磁波（EMF）のヒトへの影響については、携帯電話との距離が最も近い脳への影響が注目されてきたが、実際脳への影響を扱っている論文が圧倒的に多い。そこで本稿では電磁波（EMF）の脳機能への影響を中心に、1994 年からほぼ 20 年間、とりわけ 2006 年以降の研究を詳しく評価・総括する。携帯電話の電磁波への脳の影響に関しては、認知機能への影響、被験者の主観的評価、覚醒時の脳波に対する影響、睡眠（脳波）に対する影響、誘発電位に対する影響、脳血流(代謝)に対する影響などが評価方法として用いられている。既存の総説（文献参照）をもとに、最近の方向をさらに足して検討を行った。これらの研究で用いられているばく露環境には、携帯端末をそのまま使用する方法と模擬的に作り出した基地局の電波をばく露する場合がある。

3.1. 認知機能への影響

電磁波のばく露の認知機能(記憶、注意、集中）への影響については、表1に示すような研究がある。表の 2 行目はばく露した電磁場の種類、3 行目は評価項目（この場合は認知機能課題の種類）、4 行目に各研究で得られた知見が記載されている。知見の項で黒い文字で示した研究は、EMF ばく露により何等かの効果があったとしているもの（以下 positive study）、青い文字の研究は EMF の有意な効果がなかったとしているもの(以下 negative study)である。全体では、やや negative study が多く、特に 2006 年以降の研究で negative study が多い。また positive study においても、結果の解釈は注意しなければならない。例えば Koivisto らの 2000 年の2つの論文は positive study であるが、同じグループの Haarala らが行った 2003、2004 年の追試では、これらの結果は確認されていない。信頼性の高いとされる 2006 年以降の研究で negative study が多いことから、全体的に電磁波の認知機能への影響はあまりないということになると考えられる。あるいは、認知機能は電磁波の影響をみるのに十分鋭敏な指標ではない可能性もある。

3..2 被験者の主観的評価

Provocation study（誘発試験）は、電磁場のばく露により誘発される被験者の主観的な症状、たとえば頭痛、疲労感、自覚的な気分（不快・不安感）、生理的指標などを調べた研究である(表2)。ここでも多くの研究が negative study であり、2006 年以降の研究では、Rubin らの 2008 年の研究を除き、ほぼ全てが negative study である。従って全体的に電磁波の被験者の主観的症状への影響はあまりないということになると考えられる。あるいは被験者の主観的評価は、電磁場（EMF）の脳機能への影響を検討する上で、十分鋭敏な指標でない可能性もある。

表２で赤い文字で示してある三つの研究は、電磁場に“過敏”とされる被験者を扱っている(Rubin et al (2006)、Eltiti et al (2007) 、Furubayashi(2009))。いずれの研究でも、電磁場に“過敏”な被験者に対して、本人にわからないように実ばく露とシャムばく露を行っている。これらの研究では被験者本人の電磁場に”過敏“であるとの申告にもかかわらず、明らかに実ばく露とシャムばく露を知覚・区別できていたという証拠は得られなかった。この問題については、電磁場の

過敏についての項で別途扱う。

3.3 覚醒時の脳波の影響

電磁場の覚醒時脳波への影響については、表3にあるように脳波の各帯域（α波：8-13Hz、β波：14-Hz、θ波：4-7Hz、δ波：1-3Hz）の power の変化をみている研究が多い。近年の研究では皮質領域同志の機能的連関をみている研究もある（Vecchio et al 2010、2012）。ここでも電磁場の影響に関して否定的な報告をしている negative study が多いが、電磁波の脳機能への影響をみた研究のうち、この領域の研究では比較的 positive study が多いのが特徴である。他の領域の研究と同様、2006 年以降の研究では、negative study が多い。2006 年以前の研究については、電磁場ばく露の仕方や実験方法・統計解析の方法について十分な記載がなされていない研究も多く、結果の解釈には注意が必要である。positive study の報告をみると、α帯域、ときにβ帯域の脳波の power が増加した、あるいは減少したとする報告が多い。しかし、α帯域、あるいはβ帯域の脳波の power は被験者の覚醒度に大きく影響されるため、これらの変化を正確に検出するためには、覚醒度を十分にコントロールしなければいけない。この点について十分な考慮がなされている研究は少なく、この点でも結果の解釈に注意を要する。覚醒度の問題は次項において詳しく述べる。

3.4. 睡眠および睡眠時脳波への影響

睡眠および睡眠時脳波への電磁場の影響については、表4に示すような研究があり、睡眠中の脳波の帯域、REM 睡眠の比率、睡眠の構造などについて検討している研究が多い。この領域についても negative study と positive study 両方があるが、全体としては negative study が多い。睡眠自体への影響として、Hung ら(2007)では電磁場のばく露により睡眠潜時が短くなった報告しているが、これはそれ以前あるいは以降の研究で確認されていない。一方睡眠脳波に対する影響も 2006 年以降の研究では、概ね否定的な見解が多い。

覚醒時の脳波への影響と同様、睡眠時脳波はもともとの時間的な変動が著しく、覚醒度も大きく影響するため、実験方法は覚醒度をコントロールできるように十分に留意したものでなければならない。Enomoto ら(2013)の研究では、睡眠実験を 3 日間にわたって行い、それぞれの被験者に対して実ばく露とシャムばく露をランダムな順序で行っている。この際最初の一日目の睡眠脳波のデータは、first night effect があるため捨てており、あとの二日間の脳波データのみを解析に用いている。脳波を対象とした研究では、このような刻一刻と変動する状態を考慮する必要があるが、これまで多くの研究においてそのような考慮がなされていない。

3.5.. 誘発電位への影響

誘発電位への電磁場の影響を調べた研究も、多くは negative study である（表5）。とりわけ 2006 年以降の研究はほぼ negative study で占められている。

3.6. 脳血流(代謝)への影響

脳血流への影響についても negative study が多い(表６)。Positive な結果を出している一部の研究でも、携帯端末の近くの脳部位で血流(代謝)が変化するという報告がある一方、これと全く関係ない領域での血流(代謝)が変化するなどの報告があり、必ずしも結果の一致をみていない。

3.7. 考察

過去 20 年にわたる電磁場の人の脳機能に対する影響に関する文献を総合的に評価した結果、被験者の主観的評価、認知機能、生理学的視標、覚醒脳波、睡眠脳波、誘発電位や脳血流(代謝)への影響については否定的な研究が多いことがわかった。特に実験方法などから評価に耐える 2006 年以降の研究において、その傾向が強いことが明らかになった。逆にそれ以前の初期の研究では、ばく露方法、実験のプロトコル、統計解析法についての十分な記載がなされていないものが多く、十分な評価にたえないものもある。また追試実験において、同じ研究グループの研究者が以前の実験で得た結果が必ずしも再現されていないことがあり、結果の信頼性に関して疑問がのこる。これまでの研究の動向を総括すると、電磁場の脳機能への影響は、少なくとも急性ばく露実験に関しては概ね否定的であるといえる。ただ電磁場ばく露のリスクは非常に小さいと考えられる一方で、ゼロとは言い切れないのも事実であるため、今後どのような研究を推進していくのか、よく検討しなければならない時期に来ていると考えられる。

これらの研究で用いられている電磁場は殆ど GHz 帯である。この帯域の電磁場が現在用いられている強度で、果たして神経系に十分影響を及ぼすかどうかについては、神経生理の専門研究者の間では以前から疑問視されてきた。従って、上で総括した研究が概ね negative study であり、とりわけ信頼性の高い 2006 年以降の研究において negative study が多いことは、全体として十分理解・納得できるものといえる。このような状況に鑑みて、電磁場の影響の検討をこれまでのばく露や実験方法のまま継続することには問題があると考えられる。むしろ同じばく露実験をするならば、より細胞生物学的レベルでばく露の研究を行う必要があるという意見もある。また近年、高周波応用機器、ワイヤレス電力伝送など電波の利用が広く多様化しており、別の帯域の電磁場の影響を検討していくなど研究の方向性をシフトしていく必要もあると思われる。

それでは、これまで電磁場の脳機能への影響に関して positive study が少なからず存在する事実についてはどのように考えたらよいであろうか。まず一つの可能性は、初期の研究ではまだ実験方法自体が十分に確立されておらず、信頼できるデータではなかった可能性がある。電磁場の影響はあったとしても比較的小さいこと、影響には被験者の個人差があることも考慮に入れれば、少なくとも以下の条件を満たしている研究のみを評価の対象にすべきであると考える。

1. 実ばく露、sham ばく露の比較がなされている（sham ばく露のみでも影響が出ることがあるため、実ばく露、sham ばく露の比較が必要である）。
2. Double blinded protocol で行われている（検者、被験者ともに bias がかかっていてはいけな

い。)

3. Crossover design で行われている(同じ被験者で実ばく露、sham ばく露両方を行ったときに差があるかを検討するため。)
4. Counterbalanced and randomized order(実ばく露、sham ばく露の順序を random にする。同じ実験を繰り返すことによる疲労や学習効果などを避けるため。)
5. 統計学的に Multiple comparison を考慮している(多重比較による間違った結論を避けるため)。
6. ばく露の影響の評価を自己の主観的評価に頼りすぎるべきではない(主観的評価は十分に鋭敏でない上、被験者個人の体調など、調べたい実験条件以外の因子に左右されやすい。)

このような条件を満たす研究は、2006 年以前の研究については少ない一方で、2006 年以降の研究では信頼性の高い実験が多い。結果のところで述べたように 2006 年以降の研究では negative study の比率が極めて大きくなっているのが特徴である。

第二の可能性として、電磁場の脳機能への影響と思っていたものが、実は電磁場以外の因子の影響だったという誤認が起こっている可能性も考慮しなくてはならない。例えば携帯端末を操作する際には、電磁場ばく露の影響以外にもそれを使用すること自体による認知機能や脳波への影響が大きい。携帯端末の文字盤の操作に集中すると、まわりのものに注意がいかなくなり、歩きながら端末を操作して人がプラットフォームから線路に転落したり他の人にぶつかったりするのは周知の事実である。このような傾向はスマートホンが普及してからより顕著になっているが、携帯電話の使用自体が注意力・集中力や認知機能、に影響を与える一つの例であると考えられる。電磁場ばく露による小さい影響がこのような比較的大きな認知機能への影響によってマスクされてしまう、あるいは携帯電話使用自体による認知機能への影響を電磁場の影響と間違えるということも起きうる。

また長い実験の間には覚醒度や集中力が低下してくるので、そのこと自体も被験者の認知機能や脳波、脳血流に大きな影響を与える可能性がある。もともと電磁場ばく露による脳機能への影響が小さいと考えられる一方で、電磁場以外の携帯電話操作自体や実験条件による認知機能の変化・変動は比較的大きいとすれば、電磁場ばく露自体の影響を検出するにはかなり多数例で精度の高い計測を行わなければならないと考えられる。

考察の最初に述べたこともあわせると、たとえ陽性の結果が出た場合にも、基盤となる神経生理学的な知見の裏付けが必要である。データの信頼性を増すには、例えばばく露の強さと効果の大きさの間に用量−反応関係(dose response relationship)などを示すことも重要になるであろう。

電磁場の脳機能への影響については、電磁波に対して“過敏”な一部の被験者の存在が状況を複雑にしている。これについては別項(「電磁過敏症についての考え方」)で述べたい。

最後に、これまでの検討はいずれも主として急性ばく露に関するものであり、長期的な影響についてはあまり評価されてこなかった。電磁場の長期ばく露による脳腫瘍の発生の可能性な

ど様々な疫学的調査があることから、脳機能への影響についても長期の慢性ばく露による影響がないかどうかを検討することが今後必要になってくると思われる。この場合も電磁波自体の影響を検出する上で、携帯電話の使用自体が認知機能に与える長期的影響を考慮に入る必要があり、このことに関する検討も必要になってくると思われる。

参考文献

Augner C, Gnambs T, Winker R, Barth A. Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: a meta-analysis. Sci Total Environ. 2012;424:11-5.

Barth A, Ponocny I, Gnambs T, Winker R. No effects of short-term exposure to mobile phone electromagnetic fields on human cognitive performance: A meta-analysis. Bioelectromagnetics. 2011 [Epub ahead of print].

Feychting M. Mobile phones, radiofrequency fields, and health effects in children -epidemiological studies. Prog Biophys Mol Biol. 2011;107:343-8.

Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, Simba AY, Wake K, Nishikawa M, Miyawaki K, Yasuda A, Uchiyama M, Yamashita HK, Masuda H, Hirota S, Takahashi M, Okano T, Inomata-Terada S, Sokejima S, Maruyama E, Watanabe S, Taki M, Ohkubo C, Ugawa Y. Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. Bioelectromagnetics. 2009;30:100-13.

Ghosn R, Villégier A-S, Selmaoui B, Thuróczy G, de Sèze R. Effets des radiofréquences sur le système nerveux central chez l′ homme : EEG, sommeil, cognition, vascularization. Compte Rendu Physique 2013;14:395-401.

Juutilainen J, Höytö A, Kumlin T, Naarala J. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. Bioelectromagnetics. 2011;32:511-34.

Kesari KK, Siddiqui MH, Meena R, Verma HN, Kumar S. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. Indian J Exp Biol. 2013;51:187-200.

Kwon MS1, Hämäläinen H. Effects of mobile phone electromagnetic fields: critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. Bioelectromagnetics. 2011;32:253-72.

Nakatani-Enomoto S1, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe S, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M, Ugawa Y. Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. Bioelectromagnetics. 2013;34:589-98.

van Rongen E, Croft R, Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, Saunders R, de Seze R, Tenforde T, Verschaeve L, Veyret B, Xu Z. Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the human nervous system. J Toxicol Environ Health B Crit Rev. 2009;12:572-97.

表1. 電磁波のばく露と認知機能(記憶、注意、集中)

authors	electromagnetic field	Task performed	findings
Preece et al. (1999)	915-MHz GSM, mobile telecommnunication	short- and long-term memory, simple and choice reaction time, and sustained attention	significant shortening of reaction time in choice reaction time, no change in simple reaction time
Koivisto et al. (2000a)	900-MHz GSM, mobile phone	Simple and choice reation time tasks, vigilance task	no significant reaction time in choice reaction time, reduction in simple reaction and vigilance task
Koivisto et al. (2000b)	900-MHz GSM, mobile phone	12 cognitive tasks including simple reaction time and vigilance tasks, mental arithmetics task	speeding up of response times in simple reaction time and vigilance tasks, the cognitive time needed in a mental arithmetics task was decreased
Haarala et al. (2003b,2004)	902-MHz GSM pulsed EM field	short term memory task	Failure to confirm above results, no effects on adults' and children's cognitive function
Lass et al. (2002)	450-MHz RF modulated at 7 Hz	3 cognitive tasks including memory recognition task	no significant effects in exposed group, showing worse performance and greater intersubject variability. Fewer errors on the memory recognition task in exposed subjects.
Edelstyn & Oldershaw (2002)	900-MHz GSM mobile phone	6 widely used cognitive tasks	exposure facilitated cognitive tasks involving attentional capacity and one task that involved processing speed
Zwamborn et al. (2003)	UMTS-like signal at 10 V/m.	reaction time, memory comparison, dual-tasking, selective visual attention, and filtering irrelevant information	No significant effects on the cognitive functions
Smythe & Costall (2003)	900-MHz GSM mobile phone	short- and long-term memory tasks	males exposed to an active phone made fewer spatial errors than those exposed to an active phone condition, while females were largely unaffected
Maier et al. (2004)	900-MHz GSM-type RF	Discrimination of auditory stimuli	Exposure significantly reduced the subsequent performance of the task
Curcio et al. (2004)	900MHz GSM	acoustic simple reaction time task, visual search task, arithmetic descending subtraction task, acoustic choice reaction time task	Significant reduction of both simple and choice reaction times, subjects exposed before testing performed more rapidly than those exposed during testing
Besset et al. (2005)	900-MHz GSM	europsychological battery of 22 tasks screened information processing, attention, memory, and executive function	no significant effect of RF exposure on task performance
Russo et al. (2006)	888-MHz continuous-wave (CW) or GSM RF	reaction-time task, 10-choice serial reaction time task, subtraction task, and vigilance task,	no significant effects of RF exposure on task performance
Keetley et al. (2006)	GSM RF radiation	Rey's audiovisual learning test, digital span test, digital symbol substitution test, speed of comprehension test, trail making task, reaction time task, choice reaction time task, and inspection time task	simple and choice reaction times showed significant impairment
Eliyahu et al. (2006)	GSM mobile phone RF radiation	spatial item recognition task, spatial item recognition task, spatial compatibility tasks	exposure of the left hemisphere of the brain resulted in slower left-hand responses in the second session compared to the first, for the spatial item recognition task and one spatial compatibility task
Terao et al (2006)	800-MHz mobile phone	Precued choice reaction time task	Exposure did not have any significant effect on reaction time or accuracy
Eliyahu et al. (2006)	GSM mobile phone RF radiation	spatial item recognition task, spatial item recognition task, spatial compatibility tasks	exposure of the left **hemisphere of** the brain resulted in slower left-hand responses in the second session compared to the first, for the spatial item recognition task **and** one spatial compatibility task
Wilén et al. (2006)	mobile phone radiation	tests of arousal and vigilance, short-term memory, and reaction times	No significant effects of RF radiation on any cognitive variable
Haarala et al. (2007)	continuous or GSM signal operating at 0.25 W	simple reaction time, 10-choice reaction time, subtraction, verification, vigilance, and memory (n-back test).task	No significant difference on response between exposure to either the left or right hemisphere and sham exposure
Regel et al. (2007)	900-MHz GSM	Simple reaction time task, 2-choice reaction time task, n-back task, visual selective attention task	reduction of reaction time with increasing field strength for the 1-back task, and similar relations at trend level for the 2-back task and the choice reaction time task, but no significant effect on the simple reaction time or 3-back task.
Cinel et al. (2007)	900MHz GSM-like and continuous wave signals	auditory order threshold task	Replication of the Maier et al (2004) study on a larger number of subjects, no significant effect of exposure to RF EMF
Terao et al. (2007)	Mobile phone (1.95 GHz EMF at 0.27W net antenna input power, 250 mW)	visually guided saccade (VGS), gap saccade (GAP), and memory guided saccade (MGS) task	no significant effect on saccade tasks
Riddervold et al. (2008)	2140-MHz base station-like signal modulated as UMTS, or a 2140-MHz continuous-wave signal	reaction time (RTI) Rapid Visual Information Processing (RVP), Paired Associated Learning (PAL)	no significant effect on cognitive functions
Furubayashi et al. (2009)	2.14 GHz, 10 V/m (W-CDMA)	Precued choice reaction time task	no significant effect on cognitive functions
Okano et al. (2010)	Mobile phone (1.95 GHz EMF at 0.27W net antenna input power, 250 mW)	antisaccade task, overlap saccade task, memory guided saccade task	no significant effect on inhitibion of saccades
Curcio et al. (2012)	902.40 MHz GSM-EMF	somatosensory task	RTs in a somatosensory task resulted unaffected.
Vecchio et al (2012)	902.40 MHz GSM-EMF	visual go/no-go task	faster reaction time to go stimuli in the post- than pre-exposure

表 2. Provocation study（誘発試験）

authors	electromagnetic field	Symptoms assessed	findings
Koivisto et al. (2001)	pulsed 902-MHz field, 30min, 1hr	rate subjective symptoms and sensations	No significant differences were found between exposure conditions, although fatigue and headaches increased toward the end of sessions.
Hietanen et al. (2002)	RF EMFs	Blood pressure, heart rate, and breathing rate, report any abnormal feelings.	more symptoms were reported during sham exposure than during real exposure, subjects could not indate sham exposure from real exposure
Rubin et al. (2006)	900-MHz GSM mobile phone radiation, 50min	Subjective scoring of the severity of headaches and various other symptoms such as nausea, fatigue, and dizziness	Prevalence of various symptoms experienced was higher in sensitive than non-sensitive subjects. No difference in detecting real/sham exposure between sensitive and non-sensitive subjects.
Wilén et al. (2006)	900-MHz (GSM) RF radiation, 30min	Physiological parameters such as heart-rate variability, electrodermal activity, and respiration rate, cognitive function tests	No significant effects of RF radiation on any physiological parameter were found. "Sensitive" subjects showed differences in heart-rate variability compared to controls
Oftedal et al. (2007)	450-MHz RF modulated at 7 Hz	headache, discomfort, and various physiological parameters	increase in headache and discomfort was found after sham but not after real exposure; subjects could not perceive being exposed .no effects on heart rate and blood pressure..
Zwamborn et al. (2003)	UMTS-like signal at 10 V/m., GMS signal at 0.7V/m	cognitive functions and self-reported well-being	A significant decrease in well-being after UMTS exposure, No significant effects were seen using GSM signals either at 900 or 1800 MHz
Regel et al. (2006)	2140-MHz UMTS base-station-like RF signal	self-reported well-being	Subjects were also not able to discriminate between exposure levels, but they reported more health complaints when they suspected exposure
Eltiti et al. (2007)	GSM and UMTS fields, 10 mW/m2	Well-being, physiological functions, perception of EMF	well-being of the sensitive but not of the control subjects was decreased after GSM and UMTS exposure, skin conductance and heart rate were higher than in controls, but these parameters were not influenced by exposure. Perception of the on/off status of the field not better than chance in either group
Riddervold et al. (2008)	2140-MHz signal modulated as UMTS, or a 2140-MHz continuous-wave signal, 45 min	self-reported symptoms and perceptions of air temperature, air humidity, and air quality	no significant effect on symptoms and perceptions
Landgrebe et al. (2008)	mobile telephone exposure	fMRI	electrosensitive subjects, the areas of the brain that are activated in anticipation of, and during, sham exposure are the same that are activated in both sensitives and nonsensitives when they are exposed to heat
Rubin et al. (2008)	mobile telephone exposure	occurrence of symptoms	Well-being in those who use the label "electrosensitive" was worse than in the subjects that reported being sensitive to mobile phones but that did not use the label "electrosensitive," or in controls without symptoms.
Furubayashi et al. (2009)	UMTS-like signal at 10 V/m, 30min	Psychological and cognitive parameters, autonomic functions, perception of EMF and level of discomfort	The subjects with mobile phone-related symptoms did experience a higher level of discomfort than controls, but this was independent of the type of exposure. Perception of the on/off status of the field not better than chance in either group

表3. 覚醒時脳波への影響

authors	electromagnetic field	Parameters assessed	findings
Reiser et al. (1995)	GSM mobile phone	EEG power	Increased power of EEG frequencies in the 18–35 Hz
Röschke and Mann (1997)	GSM mobile phone positioned at 40cm from vertex	EEG power	No significant effect on the EEG
Borbély et al. (1999)	900-MHz "pseudo GSM signal"	EEG power	Increased resting EEG power in the 11–11.5 Hz bin only
Hietanen et al. (2000)	Analogue and GSM at 900 and 1800 MHz, hand-sets	EEG power	effect in only absolute but not relative power in one frequency band in one of four brain regions
Lebedeva et al. (2000)	900-MHz signal directed at the back of the head	EEG power	"dimensional complexity" was more sensitive to the effects of RF signals than conventional indices.
Freude et al. (2000)	900-MHz GSM phone	EEG power during a visual monitoring task	decrease of EEG power in all regions except frontal
Huber et al. (2000)	900-MHz GSM signal	EEG power before sleep	Resting EEG reduced in the 10.5–11 Hz range
Huber et al. (2002)	900-MHz GSM signal, hand-set continuous-wave 900-MHz signal	Waking EEG	Increased power in the alpha band for pulse-modulated EMF only
D'Costa et al. (2003)	GSM phone positioned behind the head, the antenna pointing toward the head.	EEG power	EEG alpha (8–12 Hz) and beta (13–30 Hz) bands showed significant differences when the full power mode was on
Kramarenko and Tan (2003)	GSM phone on standby	EEG power	A slow-wave delta (2.4–6 Hz) appeared in areas on the side of the phone in adults, the slow waves with lower amplitude (1–2.5 Hz) appeared earlier in children
Hinrikus et al. (2004)	450-MHz microwaves with 7-Hz on–off modulation	EEG power	Changes in the EEG in the frontal region
Papageorgiou et al. (2004)	GSM-like signal	EEG power during a memory test	exposure decreased the power in males and increased it in females, no effect of exposure on performance in the memory test, no details of experimental setup given
Curcio et al. (2005)	900-MHz GSM phone	EEG power	A small increase in some frequencies in the alpha band, stronger under exposure
Maby et al. (2006)	undefined GSM mobile phone	EEG power	decrease in EEG power in the theta, alpha, and beta bands, decrease in the variations in the delta band, in the epileptic patients an increase in power in all EEG bands
Bachmann et al. (2007)	450-MHz signal, pulse modulated at 1000 Hz, 30min	EEG power	Significant changes in the ratio of the EEG power in the beta and theta frequency bands
Vecchio et al. (2007)	GSM phone located at the left side of the head	EEG connectivity	the connectivity between both brain hemispheres in parts of the alpha band (8–12 Hz)
Regel et al. (2007)	GSM-type pulsed or continuous, planar antenna.	EEG power	An increase in frequencies in the alpha band
Perentos et al. (2007)	900-MHz GSM mobile phone or a 900-MHz continuous wave	specified EEG bands	No significant effect of either type of signal on any EEG band
Hinrikus et al. (2008)	7-, 14-, and 21-Hz pulse-modulated 450-MHz microwaves	EEG power	Significant changes in the alpha (8–13 Hz) and beta (15–20 and 22–38 Hz) bands with the 14- and 21-Hz modulations, No effect of the 7-Hz modulation
Croft et al. (2008)	875-MHz GSM phone	EEG power	An increased power in the alpha band, larger on the ipsilateral compared to the contralateral side in posterior regions
Kleinlogel et al. (2008)	1950 MHz UMTS (SAR 0.1 and 1 W/kg), pulsed 900 MHz GSM (1 W/kg)	EEG power	No significant changes in the measured parameters
Croft et al. (2010)	2nd generation (2G) GSM, and 3rd generation (3G) W-CDMA	EEG power (alpha activity)	young adults' alpha was greater in the 2G compared to Sham, no effect was seen in the adolescent or the elderly groups no effect of 3G exposures was found in any group
Vecchio et al. (2010)	GSM-EMF	inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic rhythms delta (about 2-4 Hz), theta (about 4-6 Hz), alpha1 (about 6-8 Hz), alpha2 (about 8-10 Hz), and alpha3 (about 10-12 Hz)	Increased inter-hemispheric synchronization of the dominant (alpha) EEG rhythms in elderly during GSM
Vecchio et al. (2012)	GSM-EMF	inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic rhythms delta (about 2-4 Hz), theta (about 4-6 Hz), alpha1 (about 6-8 Hz), alpha2 (about 8-10 Hz), and alpha3 (about 10-12 Hz)	increases in inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic α rhythms
Trunk et al. (2013)	3rd generation (3G) Universal Mobile Telecommunications System UMTS	EEG power (alpha activity)	No measurable effects on the EEG spectral power in delta, theta, alpha, and beta frequency bands

表４．睡眠（脳波）への影響

authors	electromagnetic field	power of exposure	findings
Reite et al. (1994)	27.12MHz modulated at 42.7Hz		decreased sleep latency by 2min, increased deepsleep by 1min
Mann & Röschke (1996)	900MHz GSM		reduced sleep onset latency, reduced percentage REM sleep with increased power density of alpha wave
Wagner et al. (1998)	900-MHz GSM	0.5 and 0.2 W/m2	failed to replicate Mann and Röschke (1996)
Borbély et al. (1999)	"pseudo GSM"900-MHz		reduced number of waking episodes after sleep onset, EEG power spectra during the first of the night's episodes of REM sleep
Wagner et al. (2000)	GSM 900-MHz, 50 W/m2	2 W/m2	no significant effects on sleep architecture or EEG spectral power density
Huber et al. (2000)	900MHz GSM, antenna		increased spectral power in alpha and beta bands (9.75–11.25 Hz and 12.5–13.25 Hz) in the first non-REM sleep phase.
Huber et al. (2002)	900MHz GSM, hand-set		significant rise in the 12.25–13.5 Hz band during sleep
Loughran et al. (2005)	894.6-MHz mobile phone	larger sample (50)	increase in spectral power only in the 11.5–12.25 Hz range
Regel et al. (2007)	900MHz GSM	similar as Huber et al. (2002)	dose-related increase in spectral power in the 10.75–11.25 Hz and 13.5–13.75 Hz bands during non-REM sleep
Fritzer et al. (2007)	"pseudo" GSM900-MHz	similar as Borbély et al.	No significant differences in any parameter
Hung et al. (2007)	900-MHz GSM	different ELF pulse modulations	an increase in sleep latency, no change was seen in 1–4 Hz EEG power
Lowden et al. (2011)	884 MHz GSM, on-DTX and DTX mode	10 g psSAR of 1.4 W/kg	decreased time in Stages 3 and 4 slow-wave sleep, increased alpha range in the sleep EEG
Danker-Hopfe et al. (2011)	900MHz GSM, mobile phones W-CDMA		No evidence indicative of a negative impact on sleep architecture
Enomoto et al. (2013)	1950 MHz, mobile phones W-CDMA	SAR 1.52 and 0.13 W/kg	No significant differences sleep variables and power EEG spectra

表5. 誘発電位への影響

authors	electromagnetic field	ERP modality	findings
Freude et al. (1998)	916.2 MHz EMF pulse modulated at 21.7 Hz	visual ERP	reduction in the amplitude of potentials in the central and temporo-parieto-occipital regions
Freude et al. (2000)	916.2 MHz EMF pulse modulated at 21.7 Hz 900-MHz GSM phone	Bereitschaftspotential, CNV	no marked effect
Urban et al. (1998)	900-MHz GSM mobile phone	visual ERP	No significant effects of exposure
Jech et al. (2001)	900-MHz GSM	visual ERP (visual oddball task)	enhanced amplitude of two components of the brain's response to the oddball stimuli, but only when the stimuli were presented to the right half of the visual field
Arai et al. (2003)	900-MHz GSM pulsed EM field	auditory brainstem response (ABR), the ABR recovery function and middle latency response (MLR)	None of the 3 measures were affected by exposure to pulsed EM field emitted by a mobile phone
Yuasa et al. (2006)	GSM 900-MHz, mobile phone RF	somatosensory ERP	No significant effects on somatosensory ERP or its recovery function,
Ferreri et al. (2006)	GSM mobile phone RF radiation	cortical excitability studied by TMS	transient decrease in intracortical inhibition and a transient increase in intracortical facilitation
Krause et al. (2000a, 2000b)	902MHz GSM	event-related desynchronization/synchronization (ERD/ERS)	increased the ERD/ERS responses in the 8–10 Hz frequency band only, Exposure effects at 6–8 and 8–10 Hz
Krause et al. (2004).	894.6-MHz mobile phone	ERD/ERS	ERD/ERS responses in the 4–8 Hz EEG frequency range, Failed replication of the findings from their earlier study
Krause et al. (2007)	900MHz GSM-like and continuous wave signals	EEG during visual and auditory memory task	No significant effects of exposure to either type of signal on performance
Stefanics et al. (2007)	900MHz GSM Mobile Phone	Auditory Brainstem Response (ABR)	No significant differences in the latency of ABR waves I, III and V before and after genuine/sham EMF exposure
Stefanics et al. (2008)	3G MTS mobile Phone	N100, N200, P200 and P300 in auditory oddball paradigm	No measurable changes in latency or amplitude of ERP components or in oscillatory gamma-band activity
Terada et al. (2007)	PulsedEMF, 800 MHz frequency band	Single and double pulse TMS	no effect on any parameters of MEPs
Kleinlogel et al. (2008)	UMTS RF exposure	N100 and P300 in auditory oddball paradigm	No deleterious effects of UMTS RF exposure
Kwon et al. (2009, 2010)	900MHz GSM, mobile phones W-CDMA	Mismatch negativity (MMN) of Auditory event-related potentials	no statistically significant effects on MMN, either in adults or children
Trunk et al. (2013)	3G MTS mobile Phone	auditory event-related potentials (ERPs) and automatic deviance detection processes reflected by mismatch negativity (MMN)	no measurable effects of a 30 min 3G mobile phone irradiation on the EEG spectral power

表6. 脳血流(代謝)への影響

authors	electromagnetic field	imaging modality /task perfomed	findings
Huber et al. (2002)	900-MHz GSM, mobile phone	PET	significant increase in rCBF in the dorsolateral prefrontal cortex of the left (exposed) hemisphere
Huber et al. (2005)	900-MHz GSM, base-station-like and mobile-phonelike exposure	PET	Increased rCBF the dorsolateral prefrontal cortex on the side of exposure only for mobile phone-like exposure
Haarala et al. (2003)	902-MHz GSM-phone signal	PET / visual working memory task	bilateral decrease in rCBF in the auditory cortex, no significant change in the task performance
Aalto et al. (2006)	900-MHz GSM	PET	reduced rCBF close to the antenna, and an elevation at various other locations deeper in the brain
Mizuno et al. (2009)	195MHz, W-CDMA	PET	no significant rCBF changes caused by the EMF
Volkow et al. (2011)	acute cell phone exposure	PET	increased cerebral metabolic rates of glucose in the brain regions closest to the active handset
Kwon et al. (2012)	902.4-MHz GSM, mobile phone	PET	no significant rCBF changes caused by mobile phone

参考資料４　疫学研究に関する検討資料 *【武林亨 中間報告書 WG 構成員】*

4.1 IARC による発がん性評価とその根拠となった研究

International Agency for Research on Cancer. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. Lancet Oncol. 2011 ;12(7):624-6.

IARC は、radiofrequency electromagnetic fields（周波数帯 30 kHz-300 GHz。以下、高周波電磁界）の発がん性に関する 2011 年開催の作業部会の結論として、Group 2B（possibly carcinogenic to humans、ヒトに対して発がん性があるかもしれない）に分類した。その根拠として、ヒト（疫学）および実験動物（毒性試験等）の両者で、発がん性に関する限定的な証拠（limited evidence in humans and in experimental animals）があったことを挙げている。

ヒトに関する評価において、中心的な役割を果たしていると考えられる疫学研究は、INTERPHONE 研究およびスウェーデン Örebro の研究グループのものである。 INTERPHONE 研究の詳細は、山口による総説に詳しい。

山口直人. ラジオ波電磁界に対する IARC 発がん性評価～携帯電話端末使用と脳腫瘍リスクに関する疫学研究を中心に～. 日衛誌 2013;68:78-82）。以下、研究の概要に関する部分を引用する。

INTERPHONE 研究は，イギリス，スウェーデン，フィンランド，デンマーク，ノルウェイ，ドイツ，フランス，イタリア，カナダ，オーストラリア，ニュージーランド，イスラエル，そして日本の 13 カ国が参加して国際共同で実施された大規模症例対照研究である。1990 年代に入って，既に述べたコホート研究，症例対照研究の結果が報告されるようになったが，これらの疫学研究には規模の面で限界があり，国際共同研究を実施すべきとの意見が大きくなった。1997 年には IARC が主催する会合において，多施設共同研究として疫学調査を実施する可能性が検討され，多くの国から強い興味が示されたことを受けて，共通の研究プロトコールに基づく国際共同疫学研究の可能性が検討されることとなった。このような経緯でスタートしたのが，INTERPHONE 研究であり，わが国も総務省内に設置された生体電磁環境研究推進委員会の基で検討がなされ，参加することとなった。研究成果は，神経膠腫と髄膜腫については 2010 年に公表され，聴神経鞘腫については 2011 年に公表された。プロトコールの詳細は論文として公表されている。対象となった疾患は，神経膠腫，髄膜腫，聴神経鞘腫，耳下腺悪性腫瘍である。年齢は 30 ～ 59 歳で，2000 年から 2004 年の症例を集積し，住民対照との間で，対面インタビュー調査で得られた携帯電話端末使用について比較が行われた。携帯電話の使用歴については，定常的な使用の有無のほか，使用頻度（1 日通話回数，1 回通話時間）を調査した。臨床情報としては，腫瘍の組織病理所見，腫瘍の位置に関する情報，腫瘍の位置については三次元上の位置情報が医療機関から収集された。統計解析は条件付ロジスティック回帰分析が用いられ，教育歴，結婚歴を交絡因子として補正してオッズ比が求められた。また，潜在する疾患のために携帯電話使用が影響される可能性を考慮して，症例において腫瘍が診断された日時の 1 年前を「基準日」と設定し，それよりも過去の携帯電

話使用歴を解析の対象とした。各症例と組になっている対照群についても症例の基準日より以前の携帯電話使用歴を解析対象とした。症例と対照の間で比較したのは，携帯電話使用歴の有無，使用者（註：週１通話以上を６ヶ月以上継続した場合に、携帯電話使用者と定義）の場合，累積使用年数（使用開始から通算して携帯電話を使用した年数），累積コール数、累積使用時間（1 回通話時間の平均値に通話の頻度と通話年数をかけて得られた累積値）である。

The INTERPHONE Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case – control study. Int J Epidemiol. 2010;39(3):675-94.

神経膠腫、髄膜腫という二つのタイプの脳腫瘍に関する結果は、2010 年に公表された。症例群は、神経膠腫 2708 例、髄膜腫 2409 例で、性別、年齢をマッチした対照群は、それぞれ 2972 例、2662 例であった。携帯電話使用者と非使用者を比較した結果、携帯電話使用による神経膠腫、髄膜腫罹患の全体のオッズ比（overall odds ratio）は、それぞれ、0.81 (95%信頼区間：0.70 – 0.94)、0.79 (0.68 – 0.91)と、有意に 1 を下回っていた。累積使用年数や累積コール数との間にも関連は認められなかった。使用期間 10 年以上の群でも、リスク上昇は認められていない。しかし、携帯電話使用者を累積使用時間数で 10 分位にわけて解析したところ、神経膠腫について、累積 1640 時間以上の携帯電話使用者でオッズ比 1.40（95%CI 1.03-1.89）と統計学的に有意なオッズ比上昇が認められた。ただし、それ以下の使用者群のオッズ比はいずれも１付近あるいは１より小さく、もっともヘビーユースの群のみでリスクの増加が観察される結果であった。同様に、腫瘍の位置別に解析した場合も、側頭葉の神経膠腫で、1640 時間以上の携帯電話使用者のオッズ比のみ、1.87（1.09-3.22）と有意の上昇であった。髄膜腫については、有意なリスクの上昇は観察されなかった。以上より、著者らは次のように結論している。

- Overall, no increase in risk of glioma or meningioma was observed with use of mobile phones.
- There were suggestions of an increased risk of glioma at the highest exposure levels, but biases and error prevent a causal interpretation.
- The possible effects of long-term heavy use of mobile phones require further investigation.

Hardell et al. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. Int J Oncol 2011;38:1465-1474.

一方、1990 年代よりスウェーデンで症例対照研究を実施し、携帯電話使用と脳腫瘍等との関連性を示唆してきた Örebro の研究グループは、2011 年に、二つの研究の対象者をまとめたプール解析の結果を報告した。1997 年～2003 年に 4 地域で悪性の脳腫瘍（神経膠腫を含む）と

診断された1251例と対照群2,438例に対して、携帯電話およびコードレス電話の使用に関する情報を収集し、解析した。その結果、一貫して有意なリスクの上昇が報告され、携帯電話使用者全体のオッズ比 1.3(1.1-1.5)、コードレス電話使用者全体のオッズ比 1.3(1.1-1.5)、ワイヤレス電話使用者全体のオッズ比 1.3(1.1-1.5)であった(いずれも、診断1年前までの使用を考慮)。もっとも高いリスクは、神経膠腫の中でもっとも多い星状細胞腫における 10 年前までの携帯電話使用との関連性で、携帯電話使用のオッズ比は、2.7(1.9-3.7)、コードレス電話は 1.8(1.2-2.9)であった。以上より、著者らは次のように結論している。

- In conclusion, an increased risk was found for glioma and use of mobile or cordless phone. The risk increased with latency time and cumulative use in hours and was highest in subjects with first use before the age of 20.

The INTERPHONE Study Group. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case – control study. Cancer Epidemiol. 2011;35(5):453-64.

聴神経鞘腫については、INTERPHONE 研究は、症例群 1105 例、対照群 2145 例を解析している。全体での解析では、腫瘍罹患 1 年前までの携帯電話使用あるいは 5 年前までの携帯電話使用のいずれもリスクの上昇は観察されなかった(オッズ比:0.85 (0.69 – 1.04)および 0.95 (0.77 – 1.17))が、腫瘍罹患 5 年前までの携帯電話累積使用時間数が 1640 時間を超える群でのみ、有意なオッズ比の上昇(2.79(1.51-5.16))が観察された。

ここまで述べた研究の結果について IARC の作業部会は、症例対照研究という疫学研究の方法論に基づく問題点として、携帯電話使用歴の想い出しや研究参加者の選定といった過程で発生するエラーのために、得られた結果がバイアス bias の影響を受けやすいことを挙げつつも、バイアスのみでは説明できないと判断し、高周波電磁界と神経膠腫との間に因果関係がある可能性があると評価している。また、聴神経鞘腫については、日本の佐藤らの研究も引用した上で、同様に、因果関係の可能性があるとしている。

Sato et al. A Case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. Bioelectromagnetics 2011;32:85-93.

日本の 22 病院の聴神経鞘腫 787 例を対象に、携帯電話の使用側と腫瘍位置との一致性の有無によってリスクを算出するケースケース解析を実施した(携帯電話使用の対側には電磁波が届かないことを利用して症例のみで解析を行い、携帯電話使用側と腫瘍側が一致する場合に電磁界ばく露ありとする)。全体での携帯電話使用のリスク比は、腫瘍が診断される 1 年前までの携帯電話使用を考慮した場合に 1.08 (95% CI, 0.93 -1.28)、5 年前までのみを考慮した場合は 1.14 (0.96-1.40)であった。さらに、一日あたりの使用時間で層別すると、一日 20 分以上の通話がある群のリスク比が、2.74(1 年前まで考慮)、3.08(5 年前まで考慮)と有意に上昇した。著者らは、症例群のみの解析であっても、病気の検出バイアス(detection bias)や携帯電話使用

の想い出しバイアス（recall bias）によって説明される可能性があるものの、関連性ありの可能性も否定できないと考察している。

また IARC の作業部会は、髄膜腫、耳下腺腫瘍、白血病、リンパ腫やその他の腫瘍については関連性を示すような情報が十分にはなく、また高周波電磁界の職業ばく露の疫学研究についても、方法論上の限界などもあり、一致した結果は得られていないとしている。IARC による評価の詳細は、モノグラフ Vol.102 に記載されている。
International Agency for Research on Cancer. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol 102, 2013

4.2. 他の機関や研究者による評価

IARC による判断を巡っては、作業部会内でも必ずしも意見の一致をみなかったことが、Lancet Oncology の記事にも記載されている。これによると、作業部会の数人（a few members）は、ヒト（疫学）の現行のエビデンスは不十分（“inadequate”）と判断すべきであるとしており、その根拠として、関連があるとする二つの研究間にも矛盾があること、INTERPHONE 研究において（もっともヘビーユースの群のみリスクが上昇し）ばく露量反応関係が認められないこと、デンマークのコホート研究で神経膠腫や聴神経鞘腫の罹患率上昇が観察されないこと、携帯電話に普及に伴うような神経膠腫の罹患率上昇が報告されていないことを挙げている。
IARC における疫学研究の確からしさの判断根拠は、以下の通りである（http://monographs.iarc.fr/ENG/Preamble/currentb6evalrationale0706.php）。

Sufficient evidence of carcinogenicity: The Working Group considers that a causal relationship has been established between exposure to the agent and human cancer. That is, a positive relationship has been observed between the exposure and cancer in studies in which chance, bias and confounding could be ruled out with reasonable confidence. A statement that there is *sufficient evidence* is followed by a separate sentence that identifies the target organ(s) or tissue(s) where an increased risk of cancer was observed in humans. Identification of a specific target organ or tissue does not preclude the possibility that the agent may cause cancer at other sites.

Limited evidence of carcinogenicity: A positive association has been observed between exposure to the agent and cancer for which a causal interpretation is considered by the Working Group to be credible, but chance, bias or confounding could not be ruled out with reasonable confidence.

Inadequate evidence of carcinogenicity: The available studies are of insufficient quality, consistency or statistical power to permit a conclusion regarding the presence or absence of a causal association between exposure and cancer, or no data on cancer in humans are available.

国際的によく知られた非電離放射線防護に関する専門家組織として、国際非電離放射線防護委員会（International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection、ICNIRP）がある。ICNIRP は、IARC の評価公表を受けて 2011 年 3 月に声明を出し、「IARC のモノグラフの出版を待つとともに、ICNIRP としては高周波電磁界の健康影響に関するレビューを実施してきており、IARC を含むすべての情報を得て、ICNIRP ガイドラインの改定を行う予定ある」とした。その後、Standing Committee on Epidemiology のメンバー名の Commentary が 2011 年の Environmental Health Perspective 誌に掲載された。これは、ICNIRP の Website では、ICNIRP SCI Review として位置づけられている（http://www.icnirp.net/PubEMF.htm）。

Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, Kheifets L, Savitz DA; International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection Standing Committee on Epidemiology. Mobile phones, brain tumors, and the Interphone Study: where are we now? Environ Health Perspect. 2011;119:1534-8.

二人の INTERPHONE 研究グループメンバーが含まれる本 Commentary では、大部分を INTERPHONE 研究の結果の解釈を巡る議論に充てている。解釈の鍵となる解析結果として、携帯電話使用者の神経膠腫、髄膜腫のリスクが有意に低下していること、累積使用時間数の増加に伴う神経膠腫（髄膜腫でも）リスクの上昇が観察されないこと、累積コール数や使用年数では関連が観察されないこと、を挙げている。

そして、こうした点を説明しうる研究方法論上の問題点として、質問票が電子情報のみであること、各国間での参加率のばらつき、Non-response バイアス、前駆症状のある者が使用しないことによるバイアス、ヘビーユーザー群での想い出しの信頼性（特に、症例群での長期記憶に関する正のバイアスと Hardell らの研究の問題点の指摘）、腫瘍位置のばく露レベルを推定した研究（含、日本の研究成果）での関連性の欠如、といった点を挙げ考察を加えている。また、INTERPHONE 以外の信頼しうるエビデンスについても検討し、INTERPHONE と同じインタビュー調査に基づく症例対照研究の限界の指摘した上で、職業ばく露あるいは居住環境ばく露の疫学研究、携帯電話使用者データベースとがん登録データベースのリンケージ研究（症例対照・コホート）、脳腫瘍罹患率の時系列トレンド解析が重要であると指摘している。

その上で、結論として、次のように記載している。

Interphone is an impressively large study with multiple indices of exposure. However, it has some methodological deficits, largely inevitable in recall-based case-control studies, which limit interpretation of its findings. Such evidence as it provides, combined with the results of biological and animal studies, other epidemiologic studies, and brain tumor incidence trends,

suggest that within the first 10–15 years after first mobile phone use there is unlikely to be a material increase in risk of adult brain tumors resulting from mobile phone use. At present there are no data on risk of childhood tumors.

The deficiencies of exposure measurement, because of recall misclassification in studies such as Interphone, and because of misidentification of users in records–based studies such as the published cohorts, leave it doubtful that either study type could reliably detect a small effect, if one existed. Both for this reason and because research cannot in principle prove the complete absence of an effect but only place limits on its possible magnitude, there is bound to remain some uncertainty for many years to come. The limited duration of data yet available, which is mainly for up to 10 years of exposure and to a lesser extent for a few years beyond this, also leave uncertainty because of the potential for long lag period effects, especially for meningioma, which is generally slower growing than glioma. The possibility of a small or a longer–term effect thus cannot be ruled out. Nevertheless, although one cannot be certain, the trend in the accumulating evidence is increasingly against the hypothesis that mobile phone use causes brain tumors.

過去の携帯電話使用を想い出しによって調査することがバイアス（腫瘍群ほど、使用時間等を過大に報告する、等）として結果を歪める可能性が高いことは、この Commentary を含め、常に指摘がなされている。この点については、INTERPHONE 研究から３つの研究結果が報告されている（J Expo Sci Environ Epidemiol. 2006;16(4):371–84. 、Occup Environ Med. 2006; 63(4): 237–243. 、J Expo Sci Environ Epidemiol. 2009;19(4):369–81.）。そのうちの一つをここに紹介する。

Vrijheid M, et al. Recall bias in the assessment of exposure to mobile phones. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2009;19(4):369–81.

この研究では、INTERPHONE 研究の 6 センターの症例 212、対照 296 のインタビューと通信記録を比較（5 センターは、in/out 両方が通信記録に含まれる）し、自己申告の通話時間 or 回数と記録された時間 or 回数の比を算出した。その結果、下表（論文中の表 6）のように、症例群でのみ、使用年数に比例して比の上昇が観察された。このことは、症例群の長期使用者ほど過大に通話時間を申告することを示しており、結果を過大に評価させるバイアスとして働いていると考えられる。

	Cases			Controls			
years	N	ratio	95%CI	N	ratio	95%CI	P for case/control
≦1	191	1.35	1,12–1.62	249	1.42	1.21–1.67	0.66

1-2	167	1.47	1.20-1.80	258	1.41	1.21-1.65	0.81
2-3	108	1.79	1.37-2.34	197	1.36	1.14-1.63	0.07
3-4	56	2.05	1.36-3.08	107	1.44	1.11-1.87	0.11
>4	36	**2.16**	1.30-3.61	57	**1.57**	1.18-2.08	0.21
	trend P<0.001			trend P=0.60			

また、一連の疫学研究の結果が一致していないことから、研究の heterogeneity について検討した報告もある。

Susanna Lagorio, Martin Roosli. Mobile Phone Use and Riskof Intracranial Tumors: A consistency analysis. Bioelectromagnetics 35:79-90 (2014)

2012 年までに出版された頭蓋内腫瘍と携帯電話使用の疫学研究のメタ解析を、22 論文の 47 の結果(神経膠腫 17、髄膜腫 15,聴神経鞘腫 15)を用いて行った。その結果、5 つの組み合わせでそれぞれ計算した 10 年以上使用の統合相対危険度は、神経膠腫 1.19 ～1.40、髄膜腫 0.98～1.11,聴神経鞘腫 1.14～1.33 で、神経膠腫と聴神経鞘腫には、高い heterogeneity が認められ、その heterogeneity は、"study group"(US、Finnish, Örebro, INTERPHONE-国別, INTERPHONE-全体, Danish cohort)によって説明されたと報告している。

4.3. IARC 評価以降の研究

IARC 評価(2011 年)以降で、携帯電話使用と頭頸部腫瘍の疫学研究文献について、次のように文献検索を行った。

検索データベース:PubMed

検索キーワード

- ✓ "case-control" or "cohort" or "prospective"
- ✓ "cancer" or "brain tumor"
- ✓ "mobile phone" or "cell phone"

検索期間:2011 年以降(2014 年 7 月 5 日まで)

言語:English・Japanese

その結果、次のような文献がヒットした。

- 総説(レビュー) 5 編
- 原著 19 編
  - Sweden、Örebro group による脳腫瘍・シュワン細胞腫の症例対照研究 7 編
  - 他のグループによる脳腫瘍・シュワン細胞腫の症例対照研究 3 編
  - 脳腫瘍・他のがんの前向き研究 7 編
  - 小児の脳腫瘍・他のがんの症例対照研究 2 編

• 意見、コメント

文献リストを示す。

（総説）

1. Lagorio S, Röösli M. Mobile phone use and risk of intracranial tumors: a consistency analysis. Bioelectromagnetics. 2014 Feb;35(2):79–90.
2. Mornet E, Kania R, Sauvaget E, Herman P, Tran Ba Huy P. Vestibular schwannoma and cell-phones. Results, limits and perspectives of clinical studies. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis. 2013 Nov;130(5):275–82.
3. Yamaguchi N. [The IARC carcinogenicity evaluation of radio-frequency electromagnetic field: with special reference to epidemiology of mobile phone use and brain tumor risk]. Nihon Eiseigaku Zasshi. 2013;68(2):78–82. Japanese.
4. Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Review of four publications on the Danish cohort study on mobile phone subscribers and risk of brain tumors. Rev Environ Health. 2012;27(1):51–8.
5. Repacholi MH, Lerchl A, Röösli M, Sienkiewicz Z, Auvinen A, Breckenkamp J, d'Inzeo G, Elliott P, Frei P, Heinrich S, Lagroye I, Lahkola A, McCormick DL, Thomas S, Vecchia P. Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. Bioelectromagnetics. 2012 Apr;33(3):187–206.

原著

（脳腫瘍・シュワン細胞腫。症例対照：Orebro group）

1. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use. Int J Oncol. 2013 Dec;43(6):1833–45.
2. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. Int J Oncol. 2013 Oct;43(4):1036–44.
3. Carlberg M, Söderqvist F, Hansson Mild K, Hardell L. Meningioma patients diagnosed 2007--2009 and the association with use of mobile and cordless phones: a case--control study. Environ Health. 2013 Jul 19;12(1):60.
4. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Use of mobile phones and cordless phones is associated with increased risk for glioma and acoustic neuroma. Pathophysiology. 2013 Apr;20(2):85–110.
5. Hardell L, Carlberg M. Use of mobile and cordless phones and survival of patients with glioma. Neuroepidemiology. 2013;40(2):101–8.
6. Carlberg M, Hardell L. On the association between glioma, wireless phones, heredity and

ionising radiation. Pathophysiology. 2012 Sep;19(4):243-52.

7. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Re-analysis of risk for glioma in relation to mobile telephone use: comparison with the results of the Interphone international case-control study. Int J Epidemiol. 2011 Aug;40(4):1126-8.

（脳腫瘍・シュワン細胞腫。症例対照：他グループ）

1. Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, Leffondre K, Guillamo JS, Loiseau H, Mathoulin-Pélissier S, Salamon R, Baldi I. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. Occup Environ Med. 2014
2. Pettersson D, Mathiesen T, Prochazka M, Bergenheim T, Florentzson R, Harder H, Nyberg G, Siesjö P, Feychting M. Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk. Epidemiology. 2014 Mar;25(2):233-41.
3. Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD, Lee WS. Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. Tumour Biol. 2014 Jan;35(1):581-7.

（前向き研究；脳腫瘍、がん）

1. Benson VS, Pirie K, Schüz J, Reeves GK, Beral V, Green J; Million Women Study Collaborators. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. Int J Epidemiol. 2013 Jun;42(3):792-802.

   De Vocht F. The case of acoustic neuroma: comment on: mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. Int J Epidemiol. 2014 Feb;43(1):273-4.

   Benson VS, Pirie K, Schüz J, Reeves GK, Beral V, Green J. Authors' response to: the case of acoustic neuroma: comment on mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. Int J Epidemiol. 2014 Feb;43(1):275.
2. Hsu MH, Syed-Abdul S, Scholl J, Jian WS, Lee P, Iqbal U, Li YC. The incidence rate and mortality of malignant brain tumors after 10 years of intensive cell phone use in Taiwan. Eur J Cancer Prev. 2013 Nov;22(6):596-8.
3. Barchana M, Margaliot M, Liphshitz I. Changes in brain glioma incidence and laterality correlates with use of mobile phones—a nationwide population based study in Israel. Asian Pac J Cancer Prev. 2012;13(11):5857-63.
4. Little MP, Rajaraman P, Curtis RE, Devesa SS, Inskip PD, Check DP, Linet MS. Mobile phone use and glioma risk: comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States. BMJ. 2012 Mar 8;344:e1147.
5. Davis DL, Miller AB, Philips A. Association of mobile phone use with adult brain cancer

remains plausible. BMJ. 2012 May 1;344:e3083

6. Kundi M. Study of mobile phone use and glioma risk was fatally flawed. BMJ. 2012 May 1;344:e3078; author reply e3088.
7. Deltour I, Auvinen A, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Sankila R, Schüz J. Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979–2008: consistency check. Epidemiology. 2012 Mar;23(2):301–7.
8. Frei P, Poulsen AH, Johansen C, Olsen JH, Steding-Jessen M, Schüz J. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. BMJ. 2011 Oct 19;343:d6387.
9. Schüz J, Steding-Jessen M, Hansen S, Stangerup SE, Cayé-Thomasen P, Poulsen AH, Olsen JH, Johansen C. Long-term mobile phone use and the risk of vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study. Am J Epidemiol. 2011 Aug 15;174(4):416–22.

（小児。脳腫瘍、がん）

1. Li CY, Liu CC, Chang YH, Chou LP, Ko MC. A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. Sci Total Environ. 2012 Oct 1;435-436:472–8.
2. Aydin D, Feychting M, Schüz J, Tynes T, Andersen TV, Schmidt LS, Poulsen AH, Johansen C, Prochazka M, Lannering B, Klæboe L, Eggen T, Jenni D, Grotzer M, Von der Weid N, Kuehni CE, Röösli M. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. J Natl Cancer Inst. 2011 Aug 17;103(16):1264–76.
3. Aydin D, Feychting M, Schüz J, Röösli M; CEFALO study team. Childhood brain tumours and use of mobile phones: comparison of a case-control study with incidence data. Environ Health. 2012 May 20;11:35.
4. Milham S. Re: Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents. J Natl Cancer Inst. 2012 Apr 18;104(8):635; author reply 635.
5. Morgan LL, Herberman RB, Philips A, Lee Davis D. Re: Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. J Natl Cancer Inst. 2012 Apr 18;104(8):635–7; author reply 637–8.
6. Söderqvist F, Carlberg M, Hansson Mild K, Hardell L. Childhood brain tumour risk and its association with wireless phones: a commentary. Environ Health. 2011 Dec 19;10:106.
7. Boice JD Jr, Tarone RE. Cell phones, cancer, and children. J Natl Cancer Inst. 2011 Aug 17;103(16):1211–3.
8. Elliott P, Toledano MB, Bennett J, Beale L, de Hoogh K, Best N, Briggs DJ. Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. BMJ. 2010 Jun

22;340:c3077.

（その他の疾患）

1. de Souza FT, Correia-Silva JF, Ferreira EF, Siqueira EC, Duarte AP, Gomez MV, Gomez RS, Gomes CC. Cell phone use and parotid salivary gland alterations: no molecular evidence. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 2014 Jul;23(7):1428-31.
2. Poulsen AH, Friis S, Johansen C, Jensen A, Frei P, Kjaear SK, Dalton SO, Schüz J. Mobile phone use and the risk of skin cancer: a nationwide cohort study in Denmark. Am J Epidemiol. 2013 Jul 15;178(2):190-7.
3. Bhargava S, Motwani MB, Patni VM. Effect of handheld mobile phone use on parotid gland salivary flow rate and volume. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2012 Aug;114(2):200-6.
4. Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Use of wireless phones and the risk of salivary gland tumours: a case-control study. Eur J Cancer Prev. 2012 Nov;21(6):576-9.
5. Frei P, Mohler E, Braun-Fahrländer C, Fröhlich J, Neubauer G, Röösli M; QUALIFEX-team. Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. Environ Int. 2012 Jan;38(1):29-36.

（意見、コメント ）

1. Davis DL, Kesari S, Soskolne CL, Miller AB, Stein Y. Swedish review strengthens grounds for concluding that radiation from cellular and cordless phones is a probable human carcinogen. Pathophysiology. 2013 Apr;20(2):123-9.
2. Ayanda OS, Baba AA, Ayanda OT. Use of mobile phones and cancer risk. Asian Pac J Cancer Prev. 2012;13(1):403-6.
3. Hardell L, Carlberg M. Using the Hill viewpoints from 1965 for evaluating strengths of evidence of the risk for brain tumors associated with use of mobile and cordless phones. Rev Environ Health. 2013;28(2-3):97-106.
4. Gadit AM. Cell phone and brain: how do they interact? J Pak Med Assoc. 2011 Dec;61(12):1249-50.
5. Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, Leeka Kheifets LK, Savitz DA; International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection Standing Committee on Epidemiology. Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now? Environ Health Perspect. 2011 Nov;119(11):1534-8.
6. Philips A, Lamburn G. Updated study contains poor science and should be disregarded. BMJ. 2011 Dec 6;343:d7899; author reply d7912.
7. Khurana VG. Questions about selection, exposure, and tumour incidence. BMJ.2011 Dec

6;343:d7893; author reply d7912.

8. Ahlbom A, Feychting M. Mobile telephones and brain tumours. BMJ. 2011 Oct 19;343:d6605.

9. Peres J. WHO classification sparks debate over cell phone safety. J Natl Cancer Inst. 2011 Aug 3;103(15):1146–7. doi: 10.1093/jnci/djr295.

おもな研究結果について整理する。

症例対照研究

Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Case–control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use. Int J Oncol. 2013;43(6):1833–45.

スウェーデンで 2007–2009 年に新たに診断された悪性脳腫瘍症例 1334 例から死亡例 520 等を除外した 683 例のうち 593 例に電話インタビューを行った。対照 1368 例は、population registry から性・年齢をマッチ（参加率 85%）している。ばく露をアナログ、デジタル（2G、3G）、コードレス等に分類して解析したところ、累積使用時間の増加（四分位）に沿って、著明なリスクの上昇が、いずれの電話タイプでも観察された。著者らは、This study confirmed previous results of an association between mobile and cordless phone use and malignant brain tumours. と結論している。

Table VI. Malignant brain tumours (n=593).

Quartile	Analogue			Digital (2G)			Digital (UMTS, 3G)			Mobile phone, total			Cordless phone			Digital type			Wireless phone		
	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co	OR	CI	Ca/Co
First	1.7	0.9-3.0	90/184	1.4	0.8-2.3	202/620	1.1	0.5-2.4	35/87	1.4	0.8-2.3	190/587	1.3	0.8-2.2	164/434	1.5	0.9-2.5	113/327	1.5	0.9-2.5	108/317
Second	1.6	0.8-3.4	22/47	1.9	1.1-3.3	138/260	1.0	0.4-2.6	16/34	1.7	1.02-3.0	126/261	1.7	1.01-3.0	120/278	1.4	0.8-2.4	113/320	1.4	0.8-2.4	110/314
Third	2.6	1.2-6.0	18/23	1.4	0.8-2.5	84/199	1.7	0.6-4.8	11/17	1.5	0.9-2.7	95/210	2.1	1.2-3.7	98/194	1.7	1.01-2.9	139/317	1.7	1.003-2.9	137/315
Fourth	7.7	2.5-24	14/6	3.2	1.8-5.6	122/129	5.1	0.8-32	5/2	2.8	1.6-4.8	137/159	3.1	1.8-5.5	79/109	2.6	1.5-4.3	206/297	2.5	1.5-4.2	216/315

Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) for cumulative use of wireless phones in quartiles based on use of wireless phones among controls in total. Adjustment was made for age at diagnosis, gender, SEI-code and year of diagnosis. Population based controls were used. First quartile >39-405 h; second quartile 406-1,091 h; third quartile 1,092-2,376 h; fourth quartile >2,376 h. p-trend (Wald's test): analogue, p=0.01; digital (2G), p<0.0001; digital (UMTS, 3G), p=0.28; mobile phone, total, p=0.0001; cordless phone, p<0.0001; digital type, p<0.0001; wireless phone, p=0.0001.

（Int J Oncol. 2013;43(6):1833–45.の Table VI より転載）

Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Pooled analysis of case–control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. Int J Oncol. 2013;43(4):1036–44

スウェーデンで、1997–2003 年に一部地域で診断された聴神経鞘腫症例（年齢 20–80 歳）と 2007－09 年に全国で診断された聴神経鞘腫症例（18–75 歳）を合わせた 316 例（93%）、および性、年齢、地域をマッチした対照 3530 例（87%）を population registry から選定し、ばく露情報は電話インタビューで入手した。同じように、アナログ、デジタル（2G、3G）、コードレス等に分類して解析したところ、いずれの解析でも著明なリスクの上昇が観察されたという（Digital（UMTS,3G）を除く）。

Table II. Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) for acoustic neuroma, total, ipsilateral and contralateral exposure.[a]

	All			Ipsilateral			Contralateral		
	Ca/Co	OR	95% CI	Ca/Co	OR	95% CI	Ca/Co	OR	95% CI
Analogue	86/558	2.9	2.0-4.3	54/252	2.9	1.9-4.6	29/184	2.5	1.4-4.2
Digital (2G)	173/2,014	1.5	1.1-2.1	108/865	1.7	1.1-2.4	62/684	1.3	0.9-2.1
Digital (UMTS, 3G)	7/141	3.9	0.4-35	3/70	1.9	0.2-20	3/45	3.6	0.3-38
Mobile phone, total	200/2,148	1.6	1.2-2.2	123/920	1.8	1.3-2.6	73/729	1.5	0.98-2.2
Cordless phone	156/1,724	1.5	1.1-2.1	101/766	1.8	1.2-2.6	52/565	1.2	0.7-1.8

[a]Numbers of exposed cases (Ca) and controls (Co) are displayed. Adjustment was made for age at diagnosis, gender, SEI-code and year of diagnosis. Ipsilateral, ≥50% use of the phone on the same side as the tumour was located. Contralateral, <50% use of the phone on the same side as the tumour was located.

Int J Oncol. 2013;43(4):1036-44 の Table II を転載。

Pettersson D, Mathiesen T, Prochazka M, Bergenheim T, Florentzson R, Harder H, Nyberg G, Siesjö P, Feychting M. Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk. Epidemiology. 2014;25(2):233-41.

2002～07 年にスウェーデン全国で新たに診断された聴神経鞘腫(20-69 歳)451 例(83%)と、population registery から性、年齢、地域をマッチして選んだ対照 1095 例(65%)を対象に、郵送質問票により情報を収集して解析した。また、Non-responder 調査も実施している。その結果、携帯使用者のオッズ比は 1.18 (95%CI 0.88-1.59)、10 年超使用で 1.11(0.76-1.61)、腫瘍と同側性使用では 0.98 (0.68-1.43)、ヘービーユーザー(≥680h)で 1.46(0.98-2.17)であった。また、組織学的診断あり症例のみの解析では. すべての OR が 1 に近づき、ヘビーユーザーでは 1.14 (0.63-2.07)となった。コードレス電話でも同様の結果であり、聴力損失など聴神経鞘腫による症状に起因する携帯使用側の変更を考慮した解析では、対側使用のリスクが上昇し、著明なバイアスの可能性が示唆されたという。以上より著者らは、The findings do not support the hypothesis that long-term mobile phone use increases the risk of acoustic neuroma. The study suggests that phone use might increase the likelihood that an acoustic neuroma case is detected and that there could be bias in the laterality analyses performed in previous studies. と結論している。

Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, Leffondre K, Guillamo JS, Loiseau H, Mathoulin-Pélissier S, Salamon R, Baldi I. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. Occup Environ Med. 2014; ;71:514-522.

フランス 4 地域での携帯電話使用と成人(16 歳+)の神経膠腫 253 例、髄膜腫 194 例の症例対照研究(2004-06)であり、対照は選挙人名簿から性・年齢をマッチした 892 例で、参加率は症例 73%、対照 45%であった。携帯電話使用は、インタビューで収集した。携帯電話使用者と非使用者全体の比較では、神経膠腫のオッズ比 1.24(95% CI 0.86-1.77)、髄膜腫で 0.90(0.61-1.34)、推定生涯使用時間を用いたヘビーユーザー(≥896h)では、神経膠腫 2.89(1.41-5.93)、髄膜腫 2.57(1.02 -6.44)、推定生涯コール数を用いたヘビーユーザー(≥18360)では、神経膠腫

2.10(1.03–4.31)、髄膜腫 1.73(0.64–4.63)であった。著者らは、These additional data support previous findings concerning a possible association between heavy mobile phone use and brain tumours.と結論している。

コホート研究

Frei P, et al. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. BMJ. 2011 ;343:d6387.

Schüz J, et al. Long–term mobile phone use and the risk of vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study. Am J Epidemiol. 2011 ;174:416–22.

デンマークの住民登録をベースに、1925 年生まれ以降で 30 歳以上の国民全員を対象として、1982–95 年の携帯電話利用のデータベースとリンケージして追跡し、国民がん登録データとマッチしてがん罹患を把握している。社会経済因子を含む要因も把握し、log linear Poisson 回帰モデルで、年齢、暦年、教育、収入を調整してリスクを推計した。追跡期間 1990–2007 年、358403 人の携帯電話利用者、計 380 万人年から、10729 例の中枢神経系腫瘍が発生した。携帯使用による罹患リスクは、男女ともほぼ 1.0 であった。また、13 年以上の携帯利用者に限定した解析では、罹患率比は、男性 1.03(95%CI:0.83–1.27)、女性 0.91(0.41–2.04)であった。腫瘍の種類ごとでは、神経膠腫は、10 年以上使用の罹患率比が 男性 1.04 (0.85–1.26)、女性 1.04(0.56–1.95)、髄膜腫は、それぞれ、0.90(0.57–1.42)、 0.93(0.46–1.87)で、使用年数や腫瘍の位置による関連性は認めなかったという。聴神経鞘腫では、11 年以上と未満使用の罹患率比が男性 0.87(0.52–1.46)であった(女性は 11 年以上使用の腫瘍発生なし、期待値 1.6)。

Deltour I, Auvinen A, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Sankila R, Schüz J. Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979–2008: consistency check. Epidemiology. 2012; 23:301–7.

デンマーク、フィンランド、ノルウェー、スウェーデンで 1979 年～2008 年に原発性の神経膠腫と診断された症例数(年齢 20–79 歳)を、各国のがん登録データベースから入手し、男女別に、10 万人年あたりの年平均年齢調整罹患率を計算した。35250 例が期間中に診断され、年平均の神経膠腫の数は、1700 万人に対して 1175(年齢 20–79)となり、そのうちスウェーデンが約 40%、他の国は各 20%程度であったという。年齢調整罹患率(10 万人年あたり)は、男性 8.6、女性 6.0 であった。罹患率は年齢とともに上昇するが、著明な時系列変化は認められず、高齢層で緩やかな増加、若い層では反対に 1980 年代後半以降減少傾向が観察される(フィンランドとノルウェーは減少なし)結果であった。

Benson VS, Million Women Study Collaborators. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. Int J Epidemiol. 2013;42:792–802.

Benson VS, et al. Authors’ response to: the case of acoustic neuroma: comment on mobile

phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. Int J Epidemiol. 2014;43:275.

英国で、1996-2001 年に 130 万人の中年女性をリクルートして実施された乳がん検診プログラム Millions Women study（前向きコホート研究）の参加者のうち、791710 人を対象とし、1999 年と 2005 年に、携帯電話使用の有無について質問し、Cox 回帰分析を実施した。7 年間の追跡期間中に、51680 例の（invasive）がん罹患、1261 例の頭蓋内中枢神経腫瘍罹患があったという。携帯電話使用の有無による比較で、頭蓋内中枢神経腫瘍罹患のリスクは、相対危険度 1.01(95%CI 0.90-1.14)であり、腫瘍の種類や位置別でも、リスクの上昇はなかった。10 年以上使用のリスクは、神経膠腫 0.78（0.55-1.10）、髄膜腫 1.10（0.66-1.84）であった。聴神経鞘腫については、この段階での解析では、10 年以上使用の 相対危険度が 2.46（.07-5.64, P=0.03)であったが、その後の期間を延長した解析で、1.17（0.60-2.27）であったという。

小児での疫学研究

Aydin D, Feychting M, Schüz J, Tynes T, Andersen TV, Schmidt LS, Poulsen AH, Johansen C, Prochazka M, Lannering B, Klæboe L, Eggen T, Jenni D, Grotzer M, Von der Weid N, Kuehni CE, Röösli M. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. J Natl Cancer Inst. 2011;103:1264-76.

デンマーク、スウェーデン、ノルウェー、スイスで実施された症例対照研究（CEFALO 研究）で、2004-08 年に脳腫瘍と診断された 7-19 歳の小児と青年が対象に実施され、352 症例（参加率 83%）と 646 対照（71%）とその両親にインタビューを行った。症例は、がん登録データベースと臨床医からの報告、対照は、population registries から年齢・性・地域をマッチして選定している。携帯電話使用のオッズ比は 1.36(95%CI 0.92-2.02)で、少なくとも 5 年以上使用していても、非使用者と比較したリスク上昇はなかった（オッズ比 1.26, 95% CI 0.70-2.28)。事業者の記録を得られた者での解析では、使用期間、累積コール時間、コール数との関連は認められなかったが.契約期間がもっとも長い群でのオッズ比の有意な増加があったという。著者らは、結論として、The absence of an exposure-response relationship either in terms of the amount of mobile phone use or by localization of the brain tumor argues against a causal association.と述べている。

参考資料５　ドシメトリに関する検討資料【*平田晃正 中間報告書 WG 構成員*】

外部電磁界により、体内に誘導される物理量を評価することをドシメトリという。生体が電磁界にさらされた際、非侵襲に体内誘導量を測定することはできないため、数値解析が頻用されている。一方で、人体のモデル化および電気的特性のモデル化は、実測に基づくものである。

5.1. ドシメトリに関わる人体のモデル化について

人体は多数の異なる組織／器官から構成されており、それらの電気的特性は異なる。2000年代中ごろより、医用画像（磁気共鳴画像など）により得られた情報に基づき、形状および組織構成を考慮したモデル化構成されてきた。しかしながら、ICNIRP[1]が述べるような人口に対する90%を対象とした場合、複数のモデルを構築することが必要となる。例えば、スイスIT'IS財団では、異なる年齢、性別の被験者のモデル化を実施、配布している[2]。しかしながら、これらのモデルの難点としては、人体は種差、性差、年齢差等の個体差が大きく、数体のモデルによる、ばらつき調査は不十分であった。近年では、標準的なモデルから個人のモデルを生成する技術の研究も進んでおり、ばらつき評価に利用可能である[3][4]。また、情報通信研究機構では、加齢に伴う変化を追跡できる人体モデルを開発している[5]。

開発した人体モデルに、測定より得られた組織ごとの電気定数を付与する必要がある。これまで、1996 年に発表された Gabriel らによる報告がデファクトスタンダードとして用いられてきた[6]。しかしながら、20GHz 以上の周波帯および中間周波帯では報告例、対象とした組織数も限定的である。情報通信研究機構では、最新の測定技術を用い、多くの組織を対象とした測定を実施しており[7]、実測に基づく周波数を関数としたパラメトリックモデルの開発が期待される（純水について、例えば[8]）。これら一連のモデル化技術のさらなる開発により、より確度の高いドシメトリの実施が期待される。

5.2. ドシメトリに関わる数値解析手法について

マイクロ波においては、多くの電磁ドシメトリ技術が開発されており、また、商用ソフトウェアも販売されるように至っている。但し、これまでの検討例の多くは、概ね3GHz以下であるが、高い周波数帯では人体モデルの分解能が多く必要とされるため、解析技術の改良などが必要となるであろう。また、携帯電話など局所ばく露については吸収電力に伴う温度上昇解析がなされ、ガイドラインあるいは規格に反映されている。一方、全身ばく露に対する体内深部温度上昇についての検討例は多くはない[11][12]。特に、温度上昇に関する報告例については、電磁ドシメトリと異なり、ばらつきの評価はあまり実施されていない。これは、熱定数の実測例が多くないことが一因であり、特に、加齢の影響など、熱調整機能の個人差に関する検討例は限定的である[11]。

中間周波数帯においては、どのような数値解析技術を利用すればよいのかの議論も十分ではなかった。マイクロ波帯における解析技術を用いた場合、一般に周波数が低くなるにつれて解析時間が増大するため、低周波側の解析手法の適用性に関する検討がなされている。具体的には、低周波側の解析手法を中間周波帯の局所ばく露、接触電流における適用周波数を検

証した例[9][10]があるが、これらで報告されている上限周波数は異なるため、今後さらなる検討が求められる。

ミリ波帯あるいはそれ以上の周波数帯においては、人体の寸法が波長に比べて大きくなるため、数値電磁界解析では十分取り扱えない場合もある。そのため、解析的な基礎検討が多いものの[13]、近年では解析的扱いと数値的な取扱いを融合させるこことによる手法開発[14, 15]もなされ、今後、応用目的を考慮に入れた上で適切な手法を選択、必要に応じて改良し、取り組んでいく必要がある。

5.3. 国際ガイドライン策定におけるドシメトリの貢献

中間周波数帯におけるドシメトリ評価例がなされるようになってきたものの多くはない。接触電流に関しては、参考レベルと基本制限の評価がなされており[6]、個体差も含めたばらつきの検討がなされている。一方、指先への知覚と温感の再検証もなされており[16]、生体反応の閾値とドシメトリによる体系化が望まれる。また、中間周波帯における基準値は、低周波帯からの外挿による部分も多く、電流刺激に対する神経活性化モデル（例えば、ホジキン・ハックスレーのモデル）などとの連携がなされ始めており[17]、更なる理解が期待される。

無線周波においては、特に、全身ばく露に対する参考レベルと基本制限の関係評価が多数なされ[18, 19, 20]、現在も周波数帯を拡張しながら継続されている[21]。我が国の研究[19, 20]もICNIRPによる声明[22]に引用されるなど、両者の関係は概ね矛盾がないことが示唆されている。また、全身平均 SAR の指標有効性に関しては、体内深部温度上昇との関連を示すことが重要であり、そのような検討もなされるようになっている[11]。局所ばく露については、IEEE 規格の 2006 年の改定において、詳細な人体モデルを用いた数値ドシメトリの結果が用いられるようになっている。その後も、WHO による RF Research Agenda[23]などでもドシメトリの項目が示され、2010 年の RF Research Agenda ではこれまでの成果として、局所ばく露に対する熱ドシメトリの成果とし、局所 SAR と温度上昇の相関がよいことを取り上げ、現在のガイドラインにおける局所 SAR の平均化質量の妥当性を述べている（6GHz まで） [24]。

5.4. 健康リスク評価におけるドシメトリの役割

電磁界の健康リスク評価のために多くの医学・生物学実験が行われている。信頼性の高い結果を得るには、ドシメトリによるばく露評価、あるいはばく露装置の設計は必要不可欠である。近年、携帯電話と脳腫瘍の関係を調べるための国際共同疫学研究（INTERPHONE STUDY）が実施された[25]。この疫学研究のためのばく露評価においては、これまでしばしば行われた脳腫瘍の発生側と携帯電話の使用側の一致性についての検討だけでなく、携帯電話使用時の頭部内SAR分布のドシメトリ結果を用いた脳腫瘍位置でのばく露量がパラメータとして利用された[26, 27, 28, 29]。また、小児における携帯電話と脳腫瘍に関する疫学研究においては、成人と小児頭部による SAR 分布の比較や近年の端末の構造変化に伴う SAR 分布への影響評価が実施されている[30]。ヒトボランティアに対する短期ばく露の影響評価として、感受性、脳の認知

機能への影響、睡眠等への影響などが調べられている。このような研究に対しては、実験に用いた携帯電話端末を詳細に模擬したドシメトリが実施されている[31, 32]。前述のように、接触電流を想定した電流知覚閾値特性を調べる研究も実施されており、神経興奮現象に関連させたドシメトリが行われている[16]。動物実験においては、各実験に対する詳細なドシメトリが実施されている。例えば、脳表のばく露と血流変化に関する研究に対しては、実験に使用した8の字ループアンテナにより生じる SAR 分布や温度分布に関する詳細なドシメトリが実施されている[33, 34]。

また、WHO の優先的研究課題としても取り上げられている妊娠期や幼若期における全身ばく露の影響を多世代に渡って調べる実験や無線通信で利用される複数周波の混合ばく露実験も行われており、そのためのドシメトリとして、妊娠ラットおよび幼若ラットでの詳細なドシメトリがラットの位置情報を考慮したばく露期間中における統計的なドシメトリが実施されている[35,36]。特に近年では、反射箱を用いた大規模な動物実験が行われている。反射箱内に配置された実験動物内のドシメトリとしては、左右前後上下といった複数方向からの平面波の重ね合わせと仮定して行う方法[37, 38, 39]や、FDTD 法とモーメント法の混成手法を用いて反射箱内の攪拌用の羽の回転や装置への実験動物からの反射を考慮した解析が行われている[40]。さらには両方法の比較も実施されている[41,42]また、家兎眼を用いた影響評価においては、眼の微細な構造を模擬したモデルの開発およびドシメトリが実施されている[14]。細胞実験においては、近年、ミリ波帯やテラヘルツ波帯の生体影響評価実験が進められており、そのためのばく露装置開発および細胞でのばく露評価が行われている[15,43,44]。

5.5. 新規技術におけるドシメトリ役割

次世代無線通信では、6GHz 以上の周波数帯が利用されることが想定されている。しかしながら、評価指標として局所 SAR が適用可能な上限周波数は国際ガイドライン間で異なる（総務省 6GHz、ICNIRP 10GHz、IEEE 6GHz）。6GHz 以上においては、人体は波長に比べて大きくなるため、いかに現実的な電磁界をモデル化し、かつ効率的にばく露評価を行うかが課題である。また、無線電力伝送などでの利用が検討されている中間周波数帯における外部磁界および体内誘導電界／SAR に関する基準値は、低周波帯における値を外装している部分もあり、再検証が求められる。なお、上記の新たな周波数帯において、ドシメトリ技術が十分確立されているとは言い難く、安心・安全な電波利用にはその確立は不可欠であろう。例えば、2014 年 9 月より、IEEE ICES 会議において、Subcommittee6 Dosimetry Modeling においては、中間周波数帯および 6GHz 以上の周波数帯におけるモデル化について課題として挙げている。

参考文献

[1] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic field (1 Hz to 100 kHz)," *Health Phys.* **99** 818-36, 2010.

[2] A. Christ et al, "The Virtual Family - development of surface - based on anatomical methods of

two adults and two children for dosimetric simulations,"*Phys. Med. Biol.*, vol.55, pp.22-38, 2010.

[3] W.P Segars, J. Bond, J. Frush, S. Hon and C. Echersley, "Population of anatomically variable 4D XCAT adult phantoms for imaging research and optimization," *Med. Phys.,* Vol. 40, 043701, 2013.

[4] T. Nagaoka and S. Watanabe,"Personalized Computational Models in Human Anatomy for Electromagnetic Dosimetry," Proc. ISABEL' 11, 2011

[5]長岡智明，和氣加奈子，多氣昌生，渡辺聡一，"ボリュームモーフィング手法による日本人の標準頭部モデル開発,"信学技報 EMCJ2014-15.

[6] S. Gabriel, R. W. Lau, and C. Gabriel, ″The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues,″ *Phys. Med. Biol.,* vol. 41, p. 2271, 1996.

[7]K. Sasaki, K. Wake, and S. Watanabe, "Development of best fit Cole-Cole parameters for measurement data from biological tissues and organs between 1 MHz and 20 GHz," *Radio Sci.*, vol. 49, pp. 459-472, 2014.

[8] W. J. Ellison,"Permittivity of pure water at standard atmospheric pressure, over the frequency range 0-25 THz and the temperature range 0-100 °C,"*J. Phys. Chem. Ref. Data*, vol. 36, pp. 1-18, 2007.

[9] K.-H. Chan, J. Hattori, I. Laakso, A. Hirata, and M. Taki, "Computational dosimetry for grounded and ungrounded human models due to contact current," *Phys. Med. Biol.,* vol.58, pp.5153-5172, 2013.

[10] S. W. Park, K. Wake, and S. Watanabe, "Calculation errors of the electric field induced in a human body under quasi-static approximation conditions,"*IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.61, pp.2153-2160, 2013.

[11] A. Hirata, T. Asano, and O. Fujiwara, "FDTD analysis of body-core temperature elevation in children and adults for whole-body exposure," *Phys. Med. Biol.*, vol.53, pp.5223-5238, 2008.

[12] D. A. Nelson, A. R. Curran, H. A. Nyberg, E. A. Marttila, P. A. Mason, J. M. Ziriax, "High-resolution simulations of the thermophysiological effects of human exposure to 100 MHz RF energy,"*Phys. Med. Biol.*, vol.58, no.6, pp.1947-1968, 2013.

[13]A. Kanezaki, A. Hirata, S. Watanabe, and H. Shirai, "Parameter variation effects on temperature elevation in a steady state, 1 dimensional, thermal model for millimeter wave exposure of 1 and 3 layer human tissue," *Phys. Med. Biol.*, vol.55, pp.4647-4659, 2010.

[14] K. Sasaki, T. Sakai, K. Wake, S. Watanabe, M. Kijima, N. Hasanova, H. Sasaki, K. Sasaki, Y. Suzuki, M. Taki, Y. Kamimura, A. Hirata, and H. Shirai, ″Dosimetry Using a Localized Exposure System in the Millimeter-Wave Band for in vivo Studies on Ocular Effects″, vol. 62, no. 7, pp. 1554-1564, 2014

[15] M. Zhadobov, R. Sauleau, Y. Le Drean, S. I. Alekseev, and M. Ziskin, "Numerical and

Experimental Millimeter-Wave Dosimetry for In Vitro Experiments,"IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.56, pp.2998-3007, 2008.

[16] Y. Kamimura, A. Yamashita, M. Yamazaki, S. Enomoto, and Y. Ugawa, "improvement of experimental system for tracking the threshold of perception currents," *Proc. EMC Europe 2014*.

[17] I. Laakso, H. Matsumoto, A. Hirata, Y.Terao, R.Hanajima and Y.Ugawa, "Multi-scale simulations predict responses to non-invasive nerve root stimulation," *J. Neur. Eng.*, 2014 (in press).

[18] P. J. Dimbylow, "Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol.47, pp.2835-2846, 2002.

[19] J. Wang, S. Kodera, O. Fujiwara, and S. Watanabe, "FDTD calculation of whole-body average SAR in adult and child models for frequencies from 30 MHz to 3 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol.51, pp.4119-4127, 2005.

[20] .Nagaoka, E.Kunieda and S. Watanabe,"Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol.59, no., pp.6695-6711, 2008.

[21] I. D.Flintoft, M. P. Robinson, G. C. R.Melia, A. C. Marvin, J. F. Dawson, "Average absorption cross-section of the human body measured at 1-12 GHz in a reverberant chamber: results of a human volunteer study," *Phys. Med. Biol.*, vol.59, no.13, pp.3297-3317, 2014.

[22] Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.*,vol. 97, no.33, pp.257-259, 2009.

[23] http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599948_eng.pdf

[24]A. Hirata and O. Fujiwara, "Correlation between mass-averaged SAR and temperature elevation in human head model exposed to RF near-fields from 1 to 6 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol.54, pp.7227-7238, 2009.

[25] INTERPHONE Study Group, "Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study", *Int J Epidemiol,* vol.39, pp.675-694, 2010.

[26] K. Wake, N. Varsier, S. Watanabe, M. Taki, J. Wiart, S, Mann, I, Deltour and E. Cardis, "The estimation of 3-D SAR distributions in a human head from mobile phone compliance testing data for epidemiological studies", *Phys. Med. Biol.*, vol. 54, pp. 5695-5706, 2009.

[27] N. Varsier, K. Wake, M. Taki, S. Watanabe, E. Carids, J. Wiart and N. Yamaguchi, "Categorization of Mobile Phones for Exposure Assessment in Epidemiological Studies on Mobile Phone Use and Brain Cancer Risk", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.56, no.10, pp.2377-2384, 2008.

[28] T. Takebayashi, N. Varsier, Y. Kikuchi, K. Wake, M. Taki, S. Watanabe, S. Akiba and N Yamaguchi, "Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study," *British J. Cancer*, vol.98, pp.652-659, 2008.

[29] E. Cardis, B. K. Armstrong, J. D. Bowman, G. G. Giles, M. Hours, D. Krewski, M. McBride, M. E.

Parent, S. Sadetzki, A. Woodward, J. Brown, A. Chetrit, J. Figuerola, C. Hoffmann, A. Jarus-Hakak, L. Montestruq, L. Nadon, L. Richardson, R. Villegas, M. Vrijheid, ″Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries,″ Occupational and Environmental Medicine, vol.68, pp.631-640, 2011.

[30] K. Wake, T. Arima, S. Watanabe and M. Taki, "SAR distributions in a child head phantom in the vicinity of recent mobile phones," *Proc. General Assembly and Scientific Symposium*, 2011.

[31] A. Y. Simba, K. Wake, S. Watanabe, S. N. Enomoto and Y. Ugawa, "Exposure system for a study of effects of mobile phones to human sleep and its dosimetry evaluation using numerical mobile phone," AFRICON, 2011.

[32] C. M. Boutry, S. Kuehn, P. Achermann, A. Romann, J. Keshvari and N. Kuster, ″Dosimetric Evaluation and Comparison of Different RF Exposure Apparatuses Used in HumanVolunteer Studies,″ *Bioelectromagnetics*, vol.29, pp.11-19, 2008.

[33] T. Arima, H. Watanabe, K. Wake,H. Masuda, S. Watanabe, M. Taki and T. Uno,"Local exposure system for rats headusing figure-8 loop antenna in 1500 MHz Band,"IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.58, no.10, pp.2740-2747, 2011.

[34] A. Hirata, H. Masuda, Y. Kanai, R. Asai, O. Fujiwara, T. Arima, H. Kawai, S. Watanabe, I. Lagroye and B. Veyret, ″Computational modeling of temperature elevation and thermoregulatory response in thebrains of anesthetized rats locally exposed at 1.5 GHz,″ *Phys. Med. Biol.*, vol.56, no.23, pp.7639-7657, 2011.

[35] J. Wang, K. Wake, H. Kawai, S. Watanabe and O. Fujiwara, ″Statistical determination of whole-body average SARs in a 2 GHz whole-body exposure system for unstrained and newborn rats,″ Physics in Medicine and Biology, vol. 57, pp. 143-154, 2012.

[36] J. Wang, W. Liao, H. Kawai, K. Wake, S. Watanabe and O. Fujiwara, ″Performance and validation of a broadband-multi-generation exposure system for unconstrained rats,″ IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol.61, no.1, pp.326-334, 2013.

[37] K. B. Jung, T. H. Kim, J. L. Kim, H. J. Doh, Y. C. Chung, J. H. Choi, and J. K. Pack, ″Development and validation of reverberation-chamber type whole-body exposure system for mobile-phone frequency," Electromagn. Biol. Med., vol. 27, pp. 73-82, 2008.

[38] T. Wu, A. Hadjem, M.-F. Wong, A. Gati, O. Picon, and J. Wiart, "Wholebody new-born and young rats' exposure assessment in a reverberating chamber operating at 2.4GHz," Phys. Med. Biol., vol. 55, pp. 1619-1630, 2010.

[39] Y. Gong, M. Capstick, D. L. McCormick, T. Horn, P. Wilson, N. Kuster, ″ LIFE TIME DOSIMETRIC ASSESSMENT FOR MICE AND RATS EXPOSED TO CELL PHONE RADIATION,″ Proc. 31th URSI, Beijing, China, Aug. 2014.

[40] J. Chakarothai, J. Wang, O. Fujiwara, K. Wake and S. Watanabe, ″Dosimetry of a reverberation chamber for whole-body exposure of small animals,″ IEEE Trans. on Microwave Theory and

Techniques, vol.61, no.9, pp.3435–3445, 2013.
[41] J. Chakarothai, J. Wang, O. Fujiwara, K. Wake and S. Watanabe, “A hybrid MoM/FDTD method for dosimetry of small animal in reverberation chamber,”IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.56, no.3, pp. 549–558, June 2014.
[42] J. Shi, J. Chakarothai, J. Wang, O. Fujiwara, K. Wake and S. Watanabe, “Quantification and verification of whole-body average SARs in small animals exposed to electromagnetic fields inside reverberation chamber,”IEICE Trans. Commun., vol.Vol.E97-B, no.10, Oct. 2014.
[43] T. Shina, Y. Suzuki, K. Wake and M. Taki, ″Millimeter-wave exposure apparatus with disc-shaped post-wall waveguide for in vitro experiment,″ Annual meeting of the Bioelectromagnetics Society, PB-204, 2013.
[44] C. Jastrow, T. Kleine-Ostmann and T. Schrader, ″Numerical dosimetric calculations for in vitro field expositions in the THz frequency range,″ Adv. Radio Sci., vol.8, pp.1–5, 2010.

参考資料６　電磁過敏症に関する検討資料　*【寺尾安生 中間報告書 WG 構成員】*

一般人口の中には、携帯電話などから発生する電磁場へのばく露を“感知”できる、あるいはばく露に“過敏”に反応する人が一部存在するとされる。そのような人は“過敏”でない他の多くの人と比較して、例えば携帯端末の使用に伴って頭痛、皮膚のかゆみ、不快感・不安感、温かい感覚などの非特異的な症状を、より頻繁にかつ強い強度で感じるという。しかし、このような電磁場に対する“過敏“の訴えは多くの場合自己申告によるものであり、そもそも電磁場 “過敏”症というものが科学的に存在するかどうか疑問を呈する研究者も多い。実際、このような電磁場に”過敏“な被験者は、携帯電話の使用に伴う電磁場へのばく露により、自律神経の調整機能、認知機能などが影響を受けやすいという報告がある一方で(Sandstrom et al., 2003)、このような症状の出現は電磁場のばく露の有無に関わりなく起こるとする研究もあり(Röösli, 2008)、いまだに議論のあるところである。

電磁場のヒトへの影響の項でも述べたように、これまで行われた三つの provocation study(電磁波のばく露によりどのような主観的症状が誘発されるかを見るタイプの研究)では、電磁場に“過敏”とされる被験者も扱っている（Rubin et al (2006)、Eltiti et al (2007) 、Furubayashi et al(2009))。いずれの研究でも、実ばく露とシャムばく露の双方を行っているが、電磁場に“過敏”な被験者が電磁場を“知覚”できる、あるいは電磁場に対して”過敏“であると自己申告をしているにもかかわらず、実験結果からは明らかに実ばく露とシャムばく露を知覚できていた、あるいは実ばく露に対してより過敏であるという証拠は得られなかった。

これらの3つの研究のうち、Furubayashi ら（2009）の研究は double blind cross over design により詳細な検討を行っている。被験者・検査者ともにわからない条件下で、50%の確率で被験者に対して電磁場の実ばく露かシャムばく露を行った。被験者に電磁場のばく露の有無を当てさせたところ、電磁場に“過敏”とされる被験者では正解率が 52±8%であったのに対し、過敏でない一般の被験者では 49±5%と差がなかった。いずれの群の正解率も、二つの答えのうち一つを当てずっぽうに答えているのと同等の成績であった。従って電磁波に“過敏”な被験者は、そうでない被験者と比較して、必ずしも正確に電磁波のばく露を感知しているわけではない。

また同じ二群の被験者に対し、ばく露前後で不快感を評価させたところ、電磁波過敏群では、コントロール群に比較してばく露前後とも一貫して不快感が強かったが、この不快感の程度はいずれの群でも実ばく露、シャムばく露の前後でとくに変化しなかった。電磁波の代わりにノイズ音のばく露で同様の実験を行った場合、いずれの群でも、ばく露後はばく露前より不快感が強くなった。また電磁場過敏症群では、ばく露前後とも一貫して不快感がコントロール群より強かった。また同じ二つの被験者群に対して、心拍数や手指の血流などの生理視標を測定したが、電磁波に“過敏”な被験者は、そうでない被験者と比較して、ばく露に対する症状や自律神経の生理指標の反応の程度が強いわけではなかった。

以上より電磁場のばく露に対して”過敏”であると自己申告する人が一部存在するとはいえ、これらの被験者が実際に電磁場を感知でき、これにより影響を受けやすいことを示す明らかな科学的証拠は今のところないといわなければならない。そのため電磁場に対する“過敏”症は、

今回のような人体への電磁場の影響の検討において、科学的な研究の対象にならないのではないか、とする意見もある。

一方で、携帯電話への過敏性を呈する被験者は、本人の自己申告に基づく集計とはいえ、スウェーデンの報告では実に人口の 1.5 %(Sandstrom et al. 2003)、アメリカ・カリフォルニア州の調査では 3.2%(Hillert e al. 2002)にも達するといわれ、近年その数も増えつつあるという。つまり一般人口の中に電磁場に"過敏"という訴えをする人が無視できない程度に存在すると考えられ、このような人がとりわけ電磁場ばく露に不安を感じているのも事実である。大部分の人は、便利さの故に日常生活でほとんど気にせずに携帯電話を使用している。しかし電磁波に "過敏"なこれらの人たちは、携帯電話を安心して使用できない、あるいは電磁場そのものに反対する立場をとる人も多いと思われる。このような被験者は、特有の性格特徴があり、過敏症のない人に比べて電磁波ばく露に限らず、さまざまな状況で強い不安感や主観的な well-being の低下を訴えやすいとの報告がある。こういう人に対して臨床的に今後も不安、苦しみを取り除く対応が求められるとともに、電磁場の脳への影響について客観的・科学的に実態を捉え、これらの人の不安を取り除くべくしっかりとした科学的根拠のあるデータを提示していく努力を続けていくことが必要であると考えられる。

参考文献

Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, Mirshekar-Syahkal D, Rasor P, Deeble R, Fox E. Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomised provocation study. Environ Health Perspect 2007; 115:1603-1608.

Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, Simba AY, Wake K, Nishikawa M, Miyawaki K, Yasuda A, Uchiyama M, Yamashita HK, Masuda H, Hirota S, Takahashi M, Okano T, Inomata-Terada S, Sokejima S, Maruyama E, Watanabe S, Taki M, Ohkubo C, Ugawa Y. Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. Bioelectromagnetics 2009;30:100-13.

Hillert L, Flato S, Georgellis A, Arnetz BB, Kolmodin-Hedman B. Environmental illness: Fatigue and cholinesterase activity in patients reporting hypersensitivity to electricity. Environ Res 2001;85:200-206.

Levallois P, Neutra R, Lee G, Hristova L. Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. Environ Health Perspect 2002;110(Suppl 4):619-623.

Regel SJ, Negovetic S, Roosli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P. UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. Environ Health Perspect 2006;114:1270-1275.

Röösli M. Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health; A systematic review. Environ Res 2008;107:277-287.

Rubin GJ, Das Munshi J, Wessely S. Electromagnetic hypersensitivity:A systematic review of provocation studies. Psychosom Med 2005;67:224–232.
Sandstrom M, Lyskov E, Hornsten R, Hansson Mild K, Wiklund U, Rask P, Klucharev V, Stenberg B, Bjerle P. Holter ECG monitoring in patients with perceived electrical hypersensitivity. Int J Psychophysiol 2003;49:227–235.

参考資料７　リスクコミュニケーションに関する検討資料 *【西澤真理子 中間報告書 WG 構成員】*

7.1. リスクコミュニケーションの考え方について

リスクコミュニケーション（リスコミ）を理解する上では、「リスク」という考え方が一般的に理解されていないということをまず認識する必要がある。「ハザード」と「リスク」が混同されており、どちらも「危険」と捉えられてしまう問題である。ハザードは「危害因子」「有害性」であり、リスクは「危険度」「好ましくないことが起こる度合い」であり、両者は別物である。

図１に例を挙げたが、発がんハザードのアルコール飲料がどれだけの大きさのリスクになるかは主に摂取量で決まる。リスクの大きさという概念が一般には理解づらく、過去のリスクの事例を見ても過去に多くの混乱が起きている。

リスクコミュニケーションが何を目指し、具体的に何を行うかについても誤解が多い。リスコミは従来の情報提供と異なる。パンフレットを作り配布するなどの従来の取り組みは、確かに安全情報の提供であるだが、リスクコミュニケーションの第一歩にすぎない。リスクコミュニケーションではそのあとが重要であり、意見や感覚、価値観が異なる人たちとの双方向の意見交換をする必要がある（図 2）。

科学にも技術にも 100%安全というものはない。グレーな側面を必然的に持つ技術を利用するにあたって、どのような意思決定をしていくのかを考える上で、実際に顔を合わせた場で意見交換を利害関係者間で行うことが糸口となる。 双方向の対話は信頼の構築にも関わってくるため重要である。情報源に対する信頼は顔の見えない、一方通行の情報の提供ではなかなか生まれず、従って、いくら情報を提供しても、その情報が信頼されない。対話を繰り返していく過程で信頼を獲得していく。信頼の構築までも目指すことがリスクコミュニケーションの目的であることを関係者間で共有する必要があろう。

また、リスクコミュニケーションは自己満足であってはならない。リスコミの実践においては、公平さ（fairness）、効果的か（competence）という点で設計し、事後の評価を行う必要である。そして、リスコミを行う大きな目標にはリスク評価とリスク管理を、よりよい社会を実現するために役立てていくことを立てることが鍵となる。

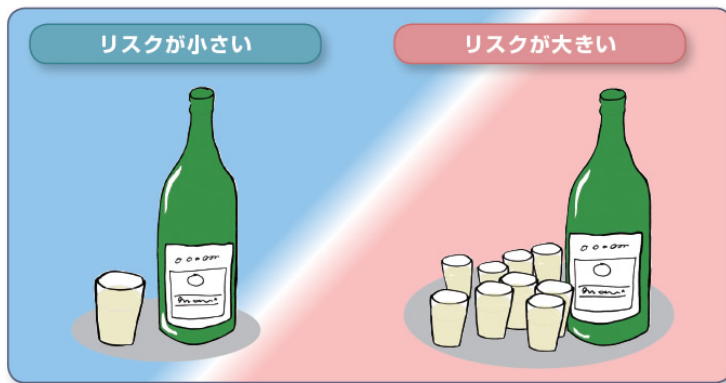
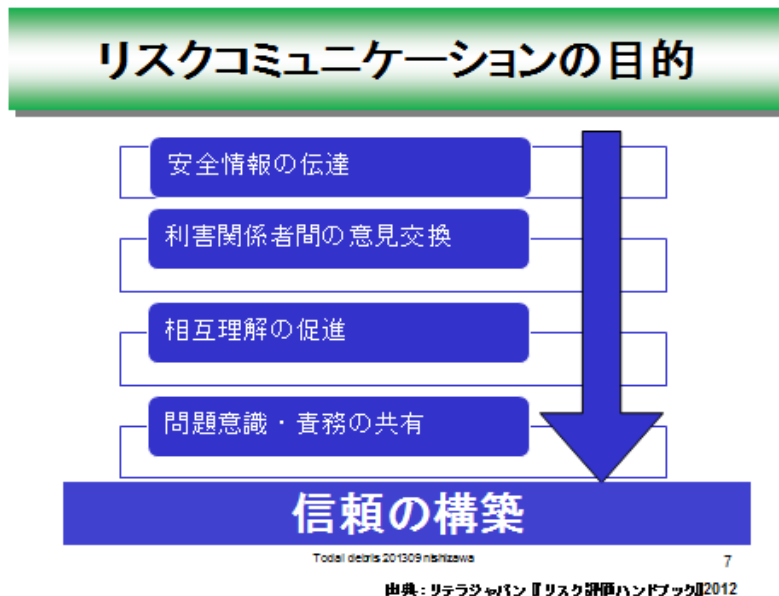



図 1　リスクの大きさの考え方　『リテラジャパン　リスク評価ハンドブック』より
http://literajapan.com/handbook/01.html#s02

図 2　リスクコミュニケーションの目的　http://literajapan.com/rc/index.html

リスコミで何をどう伝えるかについても留意が必要である。リスクコミュニケーションではリスク評価とリスク管理を伝える。専門的な情報を易しく噛み砕くことと考えられがちだが、そうではない。人は論理や数字では納得してくれず、イメージ、直感、感覚、感情で判断するものである。いくら丁寧に論理や数字を易しく説明しても、頭に入ってこない。ここが専門家と社会とのギャップとなる。情報を提供する時に悩むようであれば、説明する側が論理や数字に引っ張られすぎている可能性がある。その場合、イメージや直感を補う必要がある。また、説明の際には単に話の上手い人が行くのではなくて、リスクコミュニケーションという社会技術を活用するのが鍵である。専門家の視点に偏ったリスクコミュニケーションになってしまうと、どうしても一般には理解されず、すれ違いが起きてしまう。

また、リスクの大きさは他のリスクと比較しないと分からない。携帯電話の電磁波のリスクだけに注目すると、非常に大きなリスクであるかのように思えてしまう。しかし、他のリスクと比較することでリスクの相場観を得ることができよう。リスク比較という視点をもう少し導入することが検討されたい。

リスク評価は常に科学的不確実性をはらむものであることも、社会に対して分かりやすく、丁寧に伝えるには工夫が必要であろう。電波の人体への影響に限らず、世の中の全ての考えられるリスクについて、全くリスクが無いことを科学的に担保することは極めて困難であり、それを目指すことは現実的ではない。リスクコミュニケーションにおいては、このリスク評価の科学的不確実性と、それに対する判断の難しさを踏まえて行うことが重要になる。

リスクのトレードオフについても同様である。リスクのトレードオフとは、「あるリスクを避けることによって、他のリスクを呼びこんでしまうこと」である。リスクには物理的、経済的、心理的リスクも含む。リスクの選択にはコストとベネフィットがあり、常にトレードオフで考えなければならないが、この説明が不十分である。

リスクコミュニケーションを行う際には、場の設定や設計にも留意したい。一方通行の説明型の情報提供には限界があるのは前述したとおりである。ただ、欧米型の、自由に発言し討議できる、例えばコンセンサス会議などの参加型コミュニケーションの方法がぴたりと合うかと言えば難しい点もある。欧米で発達したコミュニケーションの方法が日本の社会土壌（行動規範や文化、社会構造）になじまない場合があり、取捨選択した上で慎重に場を設計しなくてはならないだろう。

リスクコミュニケーションの方法は進化している。リスクコミュニケーションの先進国の欧米では 90 年代から様々な利害関係者が顔を合わせて議論する少人数型での討議、インターネットを使った双方型の議論など、一方通行型から双方向型、参加型のリスクコミュニケーションに移行していっている。携帯電話であれば、ドイツでは地方自治体向けにインターネットを利用した携帯電話の人体影響について不安に思う住民の質問に答えるための Q&A を公開している。このような方法もリスコミのツールとしては使いやすく、担当者が答えるためには有効と考える。

リスクコミュニケーションの目的に照らし合わせ、わが国でも様々な形でのリスクコミュニケーションの手法が試され、そして実践されていく必要があろう。「リスクコミュニケーション」というと、非常にソフトに聞こえるが、双方向型は特に時間も労力もかかるものであるため、焦らず、地道にやっていかなくてはならない。

参考文献

西澤　真理子 『リスクコミュニケーション』エネルギーフォーラム 2013

西澤真理子 (2003)「社会土壌が参加型リスクマネジメントに与える影響:ドイツでの事例を基に」『社会技術研究論文集』1 (1), 133-140.（URL: http://shakai-gijutsu.org/vol1/1_133.pdf ）

西澤真理子 (2002)「市民に科学技術が評価できるのか：遺伝子診断に関するドレスデン・コンセサス会議」岩波書店雑誌『科学』72:9,861-5.